

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SENTİNEL-1 YAPAY AÇIKLIKLI RADAR UYDUSUNUN TOPOĞRAFİK TASVİR**  
**POTANSİYELİ ANALİZİ**

**GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAHMUT GÖRKEN**

**EKİM 2017**



**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SENTİNEL-1 YAPAY AÇIKLIKLI RADAR UYDUSUNUN TOPOĞRAFİK TASVİR**  
**POTANSİYELİ ANALİZİ**

**GEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAHMUT GÖRKEN**

**DANIŞMAN: DOÇ. DR. UMUT GÜNEŞ SEFERCİK**

**ZONGULDAK**

**Ekim 2017**



**KABUL:**

MAHMUT GÖRKEN tarafından hazırlanan “Sentinel-1 Yapay Açıklıklı Radar Uydusunun Topoğrafik Tasvir Potansiyeli Analizi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 12/10/2017

**Danışman:** Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği



**Üye:** Prof. Dr. Naci YASTIKLI

Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği



**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Aycan Murat MARANGOZ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği



---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.../.../2017



Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

  
Mahmut GÖRKEN





## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **SENTİNEL-1 YAPAY AÇIKLIKLI RADAR UYDUSUNUN TOPOĞRAFİK TASVİR POTANSİYELİ ANALİZİ**

**Mahmut GÖRKEN**

**Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK**

**Ekim 2017, 71 sayfa**

Uzay kaynaklı uzaktan algılama teknolojileri ile üç boyutlu (3B) yeryüzü topoğrafyası modelleme çalışmaları geniş kapsama alanlarında hızlı, periyodik, kolay işlenebilir ve düşük maliyetli veri elde etme avantajları nedeniyle son yıllarda oldukça fazla popülerite kazanmıştır. Özellikle global kapsama özelliğine sahip uydular yardımıyla dünyanın  $\pm 60^\circ$  Kuzey-Güney enlemleri arasında kalan kutuplar harici tüm bölgeleri rahatlıkla modellenebilmektedir. Bu işlem, özellikle gün ışığına bağımlı olmayan ve 24 saat veri alabilen ayrıca penetrasyon yetisi sayesinde bulutluluktan etkilenmeyen interferometrik yapay açıklı radar (InSAR) uyduları yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

InSAR kabiliyetli uyduların en güncel olanı Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 2014 yılında yörüngesine oturtulmuş Sentinel-1 uydusudur. Uydu, interferometrik geniş tarama (IW) mod görüntüleme yetisi sayesinde yeryüzünün  $250\text{km}^2$ 'lik bağımsız bölümlerini yalnızca birkaç saniye içinde görüntüleyip, dijital yüzey modeli (DYM) modeli üretimi için gerekli veriyi sağlamaktadır. Bu noktada, akla direk olarak bu en güncel InSAR uydusunun

## ÖZET (devam ediyor)

sağladığı veriden hangi kalitede yeryüzü modellemesi yapılabildiği yani hangi kalitede DYM üretildiği gelmektedir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, Sentinel-1A (S-1A) IW uydu görüntülerinden İstanbul ilinin tamamına yakınına kapsayan bir test alanında DYM üretilmesi ve bu DYM'nin görsel ve istatistiksel analizler ile kapsamlı olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Üretilen 15m gridli DYM, test alanında mevcut 5m orjinal gridli hava kaynaklı lazer tarama (ALS) verisi ile model bazlı kıyaslama yoluyla mutlak ve rölatif doğruluk göstergeleri temelinde analiz edilmiştir. Analizlerde ayrıca, S-1A performansının daha iyi yorumlanabilmesi açısından 2000 yılında 11 günlük bir periyotta yeryüzünü modellemiş ve günümüze dek en başarılı global kapsamalı InSAR misyonu olarak kabul gören Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) uydusunun 1 arc-second (~30m) gridli DYM'si de kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sentinel-1A, SRTM, Hava Kaynaklı Lazer Tarama, Dijital Yüzey Modeli, Kalite, Analiz

**Bilim Kodu:** 616.02.04.

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

# **TOPOGRAPHIC ESTIMATION POTENTIAL ANALYSIS OF SENTINEL-1 SYNTHETIC APERTURE RADAR SATELLITE**

**Mahmut GÖRKEN**

**Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geomatic Engineering**

**Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK**

**October 2017, 71 pages**

In recent years, three dimensional (3D) topographic modelling studies utilizing space-borne remote sensing technologies gained quite a lot popularity by means of rapid, periodical, easy processible and low cost data acquisition in large coverage areas. Particularly, between  $\pm 60^\circ$  North-South latitudes of the Earth except polar regions is easily modelled with the help of global coverage satellites. This process is realized especially with interferometric synthetic aperture radar (InSAR) satellites which are independent from sunlight and not effected by the clouds by means of penetration capability and provide data 24 hours in a day.

The most actual InSAR satellite is Sentinel-1, launched in 2014 by European Space Agency (ESA). With the advantage of interferometric width swath (IW) mode imaging, the satellite can image the  $250\text{km}^2$  parts of the Earth in few seconds and provides required data for digital surface model (DSM) generation. At this point, the first question comes into mind is the DSM quality of this most actual SAR satellite.

## **ABSTRACT (continued)**

In this study, in a test area which covers almost entire Istanbul, DSM generation from Sentinel-1A (S-1A) IW imagery and comprehensive validation with visual and statistical analysis were aimed. The generated 15m gridded DSM was model-based analyzed utilizing 5m original gridded airborne laser scanning (ALS) reference DSM considering absolute and relative accuracy indicators. In the analysis, additionally, the 1 arc-second (~30m) DSM of Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) which modelled the earth during 11 days in February 2000 and is accepted as the most successful global coverage InSAR mission, was used for the better interpretation of S-1A performance.

**Keywords:** Sentinel-1A, SRTM, Airborne Laser Scanning, Digital Surface Model, Quality, Analysis

**Science Code:** 616.02.04.

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek, her daim ve her koşulda desteğini ve bilgisini esirgemeyerek bu çalışmanın tamamlanmasını sağlayan değerli hocam Doç. Dr. Umut Güneş SEFERCİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresi boyunca yardımlarıyla beni destekleyen Arş. Gör. Can ATALAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bilimsel olarak beni destekleyen değerli hocalarıma, iki yıl boyunca manevi desteklerini daima hissettiğim dostlarıma ve diğer tüm arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

Son olarak, bugünlere gelmem için hayatımın her döneminde maddi ve manevi olarak beni destekleyen ve eğitim hayatım boyunca bana güvenen anne ve babama, onlarla beraber beni destekleyen ablama, ağabeylerime ve kardeşime teşekkür ediyorum



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1. Uzaktan Algılama .....	4
2.1.1 Uzaktan Algılamanın Temel Bileşenleri.....	4
2.1.2 Elektromanyetik Enerji .....	5
2.1.3. Elektromanyetik Spektrum .....	6
2.1.4. Atmosferik Etkiler .....	7
2.1.5. Uzaktan Algılamanın Kullanım Alanları .....	9
2.2. Algılama Sistemleri .....	9
2.2.1. Pasif Algılama Sistemleri .....	10
2.2.2. Aktif Algılama Sistemleri .....	11
2.3. Radar (Mikrodalga) Algılayıcılar .....	11
2.3.1. Radar Algılayıcıların Temel Prensibi .....	12
2.3.2. Radar Bandları .....	14
2.3.3. Radar Algılama Sistemleri .....	14
BÖLÜM 3 2000 YILINDAN SONRA FIRLATILMIŞ RADAR UYDULARI.....	33

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.1 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) .....	33
3.2 Envisat .....	35
3.3 Alos Palsar .....	36
3.4 TerraSAR-X (TSX) .....	38
3.5 Cosmo-SkyMed .....	39
3.6 Sentinel-1A .....	40
BÖLÜM 4 METODOLOJİ .....	43
4.1 Sentinel-1A Görüntülerinden DYM Üretimi .....	43
4.2 DYM Değerlendirmesi .....	47
BÖLÜM 5 DEĞERLENDİRME ANALİZLERİ .....	53
5.1 Test Alanı Karakteristikleri .....	53
5.2 Kullanılan Uydu Görüntüleri .....	54
5.3 Referans Alınan Ve Üretilen DYM'ler .....	56
5.3.1 Referans DYM .....	56
5.3.2 Üretilen DYM'ler .....	56
5.4 Üretilen DYM'lerin Doğrulukları .....	57
5.4.1 Yatay Doğruluklar .....	57
5.4.2 Düşey Doğruluklar .....	58
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	65
KAYNAKLAR .....	67
ÖZGEÇMİŞ .....	71



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Uzaktan Algılamanın Bileşenleri (URL2). ....	4
Şekil 2.2 Elektromanyetik Dalgalar. ....	6
Şekil 2.3 Elektromanyetik Spektrum (URL3). ....	7
Şekil 2.4 Yüzeylerin geometrisine göre yansımaya tipleri (URL4). ....	8
Şekil 2.5 Algılama Sistemleri. ....	10
Şekil 2.6 Pasif Algılama (URL5). ....	10
Şekil 2.7 Aktif Algılama(URL5). ....	11
Şekil 2.8 Radar sistemlerin çalışma prensibi (URL7). ....	13
Şekil 2.9 Düzlemsel Göstergeli Radar (PPI) (URL10). ....	15
Şekil 2.10 Yan Bakışlı Radar Sistemi (URL11). ....	16
Şekil 2.11 SLR Uçuş Geometrisi (URL12). ....	17
Şekil 2.12 Radar Pulsunun Yayılımı ve Anten Algılama Grafiği (URL13). ....	18
Şekil 2.13 SLR sisteminde mesafe çözünürlüğü. ....	20
Şekil 2.14 SLR sisteminde azimut çözünürlüğü (Lillesand and Kiefer 2000'den değiştirilerek). ....	21
Şekil 2.15 Optik ve SAR görüntüleme geometrileri arasındaki fark (URL14). ....	23
Şekil 2.16 1m IKONOS pankromatik görüntü (sol), 1m TerraSAR-X yüksek çözünürlüklü spotlight görüntü (sağ) (URL14). ....	24
Şekil 2.17 Layover (URL15). ....	25
Şekil 2.18 SAR sisteminin distorsiyon geometrisi(Sefercik 2006). ....	26
Şekil 2.19 İnsar tekniğinin geometrisi (Sefercik 2006). ....	27
Şekil 2.20 Interferogram (Fringe map) (Sefercik 2006). ....	28
Şekil 2.21 Amplitude (şiddet) görüntüsü. ....	29
Şekil 2.22 Köşeyansıtıcısı ve geometrisi. ....	29
Şekil 2.23 Köşe yansıtıcılarının görüntü üzerindeki görünümü. ....	30
Şekil 2.24 Faz görüntüsü. ....	30
Şekil 2.25 Coherence (uyum) haritası (Sefercik ve Dana 2011). ....	31

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 SRTM'in sistem bileşenleri. ....	34
Şekil 3.2 Envisat uydusunun yapısı (URL16). ....	35
Şekil 3.3 ALOS PALSAR uydu sisteminin bileşenleri (URL17). ....	37
Şekil 3.4 TerraSAR-X uydu sisteminin bileşenleri (URL18). ....	38
Şekil 3.5 Cosmo-SkyMed uydusunun sistem bileşenleri (URL19). ....	39
Şekil 3.6 Sentinel-1A uydusunun sistem bileşenleri. ....	41
Şekil 4.1 SNAP programında uygulanan interferometrik işlem adımları. ....	43
Şekil 5.1 Çalışma alanının Sentinel-1A IW master görüntüsü. ....	53
Şekil 5.2 Sentinel-1A uydusuna ait görüntü geometrisi. ....	55
Şekil 5.3 SRTM uydusuna ait görüntü geometrisi. ....	55
Şekil 5.4 Hava kaynaklı lazer tarama ile üretilmiş referans dijital yüzey modeli. ....	56
Şekil 5.5 Sentinel-1A (sol) ve SRTM(sağ) dijital yüzey modelleri. ....	57
Şekil 5.6 Referans modelden olan yükseklik farklılıklarının dağılım frekansı (tüm arazi), tüm sınıflar (a), açık alan (b), bina (c), orman (d). ....	60
Şekil 5.7 Referans modelden olan yükseklik farklılıklarının dağılım frekansı (eğimsiz araziler), tüm sınıflar (a), açık alan (b), bina (c), orman (d). ....	61
Şekil 5.8 Fark yükseklik modelleri: S-1A (Sol), SRTM (Sağ). ....	62

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Uzaktan Algılamanın Kullanım Alanları. ....	9
Çizelge 2.2 Radar Bandları. ....	14
Çizelge 3.1 Envisat ASAR uydusunun teknik özellikleri. ....	36
Çizelge 3.2 ALOS PALSAR uydusunun özellikleri. ....	37
Çizelge 3.3 TerraSAR-X uydusunun teknik özellikleri. ....	39
Çizelge 3.4 COSMO-SkyMed uydusuna ait teknik özellikler. ....	40
Çizelge 3.5 Sentinel-1A uydusunun teknik özellikleri.....	42
Çizelge 5.1 Master ve slave IW InSAR çiftinin özellikleri.....	54
Çizelge 5.2 S-1A ve SRTM yatay konum doğrulukları ( $\Delta X, \Delta Y$ ). ....	58
Çizelge 5.3 S-1A ve SRTM DYM'lerine ait mutlak düşey doğruluklar ( $\alpha$ = arazi eğimi).....	59
Çizelge 5.4 Rölatif düşey doğruluklar.....	63



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\xi$	: Deklinasyon
$\Delta$	: Delta
$\alpha$	: Alpha
$\beta$	: Beta
$\theta$	: Theta
$\lambda$	: Lamda
$\mu$	: Mu
$\pi$	: Pi
$\rho$	: Rho
$\sigma$	: Sigma
$\Sigma$	: Sigma
$\varphi$	: Phi
$\Psi$	: Roll

### KISALTMALAR

<b>ALOS</b>	: Gelişmiş Kara Gözleme Uydu Sistemi
<b>ALS</b>	: Hava Kaynaklı Lazer Tarama
<b>ASI</b>	: İtalyan Uzay Ajansı
<b>AVNIR-2</b>	: Advanced Visible And Near İnfrared Radiometer- Type Two
<b>DLR</b>	: Alman Uzay Merkezi
<b>DTAR</b>	: Hedef Belirsizlik Oranı
<b>DYM</b>	: Dijital Yüzey Modeli
<b>EMR</b>	: Elektromanyetik Radyasyon
<b>ESA</b>	: Avrupa Uzay Ajansı
<b>GMES</b>	: Global Monitoring for Environment and Security

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

<b>GNSS</b>	:Küresel Konumlama Sistemi
<b>InSAR</b>	:İnterferometrik Yapay Açıklı Radar
<b>IW</b>	:İnterferometrik Geniş Tarama
<b>JAXA</b>	:Japonya Uzay Araştırma Ajansı
<b>KOH</b>	: Karesele Ortalama Hata
<b>MAD</b>	: Medyan Mutlak Sapma
<b>MoD</b>	: İtalya Savunma Bakanlığı
<b>NAD83</b>	: National American Datum 1983
<b>NASA</b>	: Amerikan Ulusal Havacılık Uzay Dairesi
<b>NGS</b>	: National Geodetic Survey
<b>NMA</b>	: Ulusal Görüntü ve Haritalama Ajansı
<b>NIR</b>	: Yakın Kızıl Ötesi
<b>NMAD</b>	: Normallendirilmiş Medyan Mutlak Sapma
<b>PALSAR</b>	: Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar
<b>PPI</b>	: Düzlemsel Göstergeli Radar
<b>PRISM</b>	: Panchromatic Remote Sensing Instrument For Stereo Mapping
<b>RADAR</b>	: Radio Detection And Ranging
<b>RAR</b>	: Gerçek Açıklıklı Radar
<b>S-1A</b>	: Sentinel-1A
<b>SAR</b>	: Yapay Açıklıklı Radar
<b>SLC</b>	: Single Look Complex
<b>SLR/SLAR</b>	: Yan Bakışlı Radar
<b>SNR</b>	: Sinyal-Gürültü Oranı
<b>SRTM</b>	: Shuttle Radar Topography Mission
<b>SWIR</b>	: Kısa Dalga Kızıl Ötesi
<b>SZ</b>	: Standard Sapma
<b>UTM</b>	: Universal Transverse Mercator
<b>YKN</b>	: Yer Kontrol Noktaları
<b>3B</b>	: Üç Boyutlu

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Haritacılık disiplininde, hedef obje ile doğrudan bir temas kurmaksızın bu objeye ilişkin bilgileri (verileri) hava veya uzay kaynaklı algılayıcılardan yararlanarak elde etme teknolojilerinin ortak adı "Uzaktan Algılama" 'dır. Uzaktan algılama, son dönemde geçmişe nazaran oldukça fazla popülerite kazanmış ve özellikle yeryüzü topoğrafyası ilişkili çalışan meslek disiplinlerinde dünya kullanıcılarının vazgeçilmez bir tekniği haline gelmiştir (Sunar 2011). Uzaktan algılama, algılayıcının veri alım konumuna göre hava ve uzay kaynaklı olmak üzere iki ana alt disipline ayrılır. Bu alt disiplinlerinin veri alım prensipleri birbirine benzemekle birlikte temel farklılık irtifa ve irtifaya bağlı kapsama alanıdır.

Bu tez çalışması, uzay-kaynaklı uzaktan algılama verileri ile gerçekleştirilmiştir. Uzay-kaynaklı uzaktan algılama temel olarak pasif ve aktif olmak üzere iki algılama prensibine göre çalışmaktadır. Pasif algılayıcılar, optik düzenekli diğer bir adıyla kamera düzenekli algılayıcılar olup güneş ışığının objeleri aydınlatması ve objelerden dönen enerjinin kaydı ve işlenmesi felsefesi ile çalışmaktadır. Bu durum pasif sistemlerin yalnız gün ışığı olduğunda işletilebilir olması sonucunu doğurmaktadır. Aktif algılayıcılar diğer adıyla yapay açıklı radarlar (SAR) ise, güneşten bağımsız kendi ürettikleri enerji ile aydınlanma sağladığından her mevsim ve gün boyu gece-gündüz ayrımı olmaksızın algılama yapabilmektedir. Aktif algılayıcıların, ürettikleri uzun dalga boylu sinyaller yardımıyla bulut penetrasyonu yetenekleri bulunmaktadır ve hava şartlarından etkilenmemektedirler. Bu avantajların yanı sıra, interferometrik yapay açıklı radar (InSAR) özelliği bulunan SAR uydularının üç boyutlu yeryüzü modelleme performansları da oldukça yüksektir ( Curry 2005).

Uzay-kaynaklı aktif uzaktan algılamanın son temsilcisi Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 2014 yılında yörüngesine oturtulan Sentinel-1 SAR uydusudur. Uydu, interferometrik geniş tarama (IW) görüntüleme modu sayesinde tek seferde 250km<sup>2</sup>'lik geniş yeryüzü çerçevelerinde 5m×20m (azimut×mesafe) mekansal çözünürlüklerinde veri alabilme yetisine

sahiptir. InSAR kabiliyeti de olan uydu, belirtilen bu geniş kapsama alanında yeryüzünün çıplak topoğrafyası ve üzerindeki tüm objeleri kuş bakışı tasvir eden üç boyutlu dijital yüzey modellerinin (DYM) üretimine de olanak vermektedir.

Bu çalışmada, Sentinel-1A (S-1A) uydusunun DYM potansiyelinin ortaya konularak, bilim dünyası için çok taze olan bu veri hakkında referans niteliğinde bir çalışma gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, aralarında yalnızca 1 periyot (12 gün) bulunan ve InSAR çalışmaya uygun iki S-1A IW uydu görüntüsünden 15m gridli bir DYM üretilmiş ve bu DYM'nin görsel ve istatistiksel kapsamlı analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler model-bazlı yapılmış olup, 5m orjinal gridli bir hava kaynaklı lazer tarama (ALS) DYM'si referans olarak kullanılmıştır.

Tez çalışmasının yapısı şu şekildedir; ikinci bölümde çalışmanın literatürel bilgisi verilmiş, üçüncü bölümde 2000 yılından günümüze dek fırlatılmış SAR uydu misyonları özetlenmiştir. Dördüncü bölümde, test alanı ve kullanılan materyeller anlatılmıştır. Beşinci bölümde DYM üretim ve değerlendirme metodolojisi yer almaktadır. Altıncı bölümde elde edilen sonuçlar sergilenmekte olup genel sonuç sunumu ile çalışma tamamlanmıştır.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÖZETİ

Haritacılık alanında bilinen ilk harita örnekleri Babilliler dönemine kadar uzanmaktadır. Bu dönemde ilk kadastral haritalar çizilmeye başlanmıştır. Daha sonra Mısırlılar tarafında ilkel teknikler ile ilk arazi ölçümleri yapılmıştır. Zamanla bilimde ortaya çıkan yeni bilgiler doğrultusunda eski Yunanlılar tarafından kartografik çalışmaların ilk temelleri atılmıştır. Orta Çağın sonlarına doğru İslam bilginlerinin astronomi ve matematik alanındaki çalışmaları haritacılığın gelişimine önemli katkıda bulunmuştur. 17. ve 18. Yüzyıllarda geliştirilen teknik ve araçlar haritacılığın gelişimini hızlandırmıştır (URL1).

20. Yüzyılın başlarına kadar haritacılık alanında yalnızca yersel ölçme teknikleri kullanılmıştır. Yersel ölçme tekniğinin yüksek doğruluk vermesine karşın; yerel alanlarda sınırlılık, topoğrafik şartlara bağımlılık, yüksek işgücü ve çok fazla zaman alması bilim adamlarını yeni teknikler aramaya yönlendirmiştir. Bu doğrultuda 20. Yüzyılın ilk dönemlerinde uzaktan algılama tekniğinin ilk adımları atılmıştır. Özellikle fotogrametri alanında çalışmalar gerçekleştirilmiş ve ilk fotogrametrik haritalar üretilmeye başlanmıştır. Fotogrametri ile birlikte yüksek doğrulukta, daha geniş alan çalışmaları yapılmıştır. İkinci Dünya savaşının başlamasıyla askeri alanda yenilikler artmış ve bu yenilikler haritacılık alanında da kendini fazlasıyla göstermiştir. Askeri amaçlı olarak geliştirilen fotoğraf filmleri fotogrametrinin gelişimini hızlandırmıştır. İkinci Dünya savaşının ardından başlayan soğuk savaş döneminde haritacılığın gelişimi daha da hızlanmaya başlamıştır. Bu dönemde uydu sistemleri geliştirilerek fırlatılmaya başlanmıştır. Uydu sistemlerinden başarılı sonuçlar alınmasıyla birlikte bu alandaki çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Uzaktan algılama ve fotogrametri çalışmalar ile birlikte Küresel Konumlama Sistemi (GNSS), lazer sistemler, batimetri gibi yeni teknikler geliştirilmiştir.

Özellikle uzaktan algılama ve fotogrametri alanında hızlı gelişim, bilgisayar, elektronik ve teknolojiye gelişmeler haritacılık alanına yeni bir boyut getirmiştir. Hususen, uzaktan

algılamadaki radar sistemlerin getirdiği gece-gündüz ölçüm olanağı ve uydu sistemlerinin stereo görüntülerinin 1m ayırım gücüne kadar gelmesi, orta ve büyük ölçekli haritaların üretiminde yeni bir dönemi başlatmıştır. Uzaktan algılama, metotlarındaki bu gelişmeler ile haritacılık alanında önümüzdeki yıllarda da oldukça söz sahibi olacağını göstermektedir.

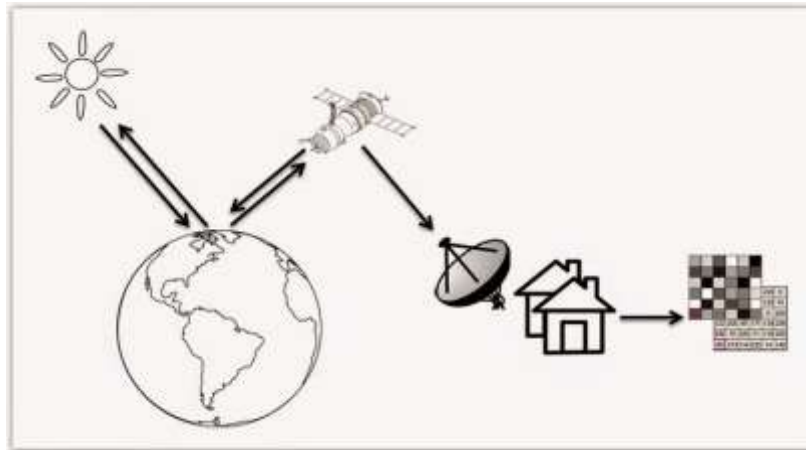
## 2.1 UZAKTAN ALGILAMA

Uzaktan algılama; herhangi bir cisme veya nesneye maddi olarak temas edilmeden o cisim veya nesnenin fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında bilgi edinme tekniğidir. Uzaktan algılama teknolojileri ise, dünya üzerinden veya dünya üzerindeki bir nesneden yayılan veya yansıyan enerjinin algılanıp kaydedilerek belirli işlemlerden geçirilerek işlendikten sonra, analiz edilip bilgi çıkarımında kullanılır.

### 2.1.1 Uzaktan Algılamanın Temel Bileşenleri

Uzaktan algılama literatürde çok farklı tanımlara sahip olmakla birlikte, birçok farklı teknolojiyi kullanmaktadır. Ancak tüm bu farklılıklara rağmen uzaktan algılama belirli kavramlara dayalı olarak aynı temel bileşenleri içermektedir.

Genel olarak bu temel bileşenler; Güneş (enerji kaynağı), yeryüzü, uydu (algılayıcı) ve yer istasyonlarıdır (Şekil 2.1). Bu bileşenlerden algılayıcıların enerjiyi kullanma durumlarına göre farklılıklar göstermektedir. Güneşe bağımlı olarak güneş enerjisini kullanan algılama sistemlerine pasif algılama, kendi enerjisini kendi üreten algılama sistemlerine de aktif algılama olarak ifade edilmektedir (Sefercik 2014).



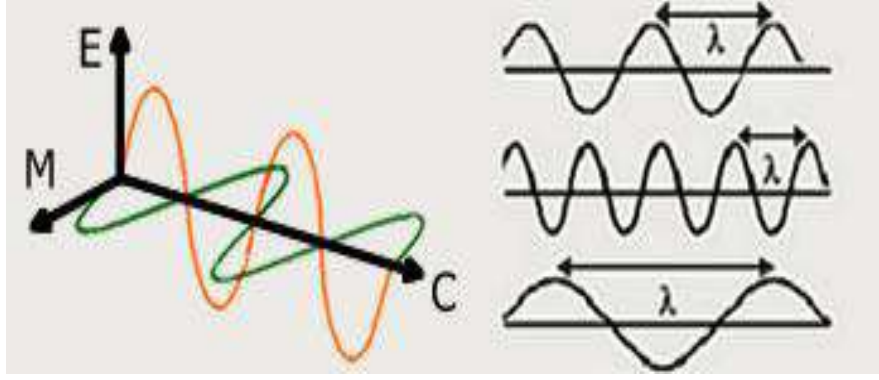
Şekil 2.1 Uzaktan Algılamanın Bileşenleri (URL2).

Uzaktan algılamada verinin elde edilebilmesi için gerekli olan ilk bileşen enerji kaynağıdır. Enerji kaynağından çıkan enerji (aktif sistemlerde elektromanyetik enerji, pasif sistemlerde Güneş) hedefi aydınlatmaktadır. Enerji kaynağından çıkan enerji cisme ulaşana kadar atmosferde aldığı yol boyunca bazı atmosferik etkiler ile karşılaşır. Aynı zamanda buna benzer etkileşimler cisimden algılayıcıya giderken de meydana gelmektedir. Atmosferden geçip cisme ulaşan elektromanyetik enerjide, ışınım ve cismin özelliklerine bağlı olarak bir takım etkileşimler meydana gelir. Cisimden yayılan ve saçılan enerji algılayıcılar tarafından toplandıktan sonra bu enerjiye ilişkin veri kaydedilir. Algılayıcılar tarafından kaydedilen veriler, işlenip görüntüye dönüştürülmek üzere yer istasyonuna genellikle elektronik olarak gönderilir. Elektronik, dijital ve görsel teknikler ile işlenip zenginleştirilen görüntü, analiz edilip yorumlanarak daha nicelikli sonuçlar veren verilere dönüştürülür. Son olarak işlenmiş veri üzerinden bilgi çıkarımı yapıp bazı sonuçlar elde edilir.

### **2.1.2 Elektromanyetik Enerji**

Elektromanyetik enerji, elektrik alan ve manyetik alan olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Elektromanyetik enerjinin genel özellikleri bulunmaktadır. Tüm elektromanyetik enerji ışık hızında hareket etmektedir ( $c = 299,793$  km/saniye). Aynı zamanda hem tanecik hem de dalga modeli ile açıklanmaktadır. Elektromanyetik enerjinin bulunduğu şekilleri; ışık, radyo dalgası, ısı, morötesi, kızılötesi ve X ışınları olarak çeşitlendirebiliriz (Örmeci 1987).

Uzaktan algılama sisteminin bileşenleri arasındaki bağlantıyı elektromanyetik enerji sağlamaktadır. İş yapabilme kabiliyeti olan enerji bir noktadan başka bir noktaya üç farklı şekilde taşınmaktadır. Bu taşıma şekilleri; konduksiyon, konveksiyon ve ışıma ile taşımadır. Bu taşımalar arasında özellikle ışıma ile taşıma (elektromanyetik ışıma), uzaktan algılamada çok önemlidir. Elektromanyetik ışıma uzaktan algılamada elektromanyetik radyasyon olarak ifade edilmektedir. Elektromanyetik radyasyonun (EMR) temel yapısı bir elektriksel alan (E) ve elektriksel alana dik yönde bir manyetik alandan (M) meydana gelmektedir. Bu yapı şekil 2.2'de gösterilmiştir. Bu alanlarda bir sinüs eğrisi yapısında bulunan ve ışık hızında hareket eden dalgaların açısı yayılma yönüne diktir (Çölkesen 2009). Dalga boyu ( $\lambda$ ), frekans (f) ve genlik (A) enerjinin dalga karakterini ifade etmek için kullanılan parametrelerdir.



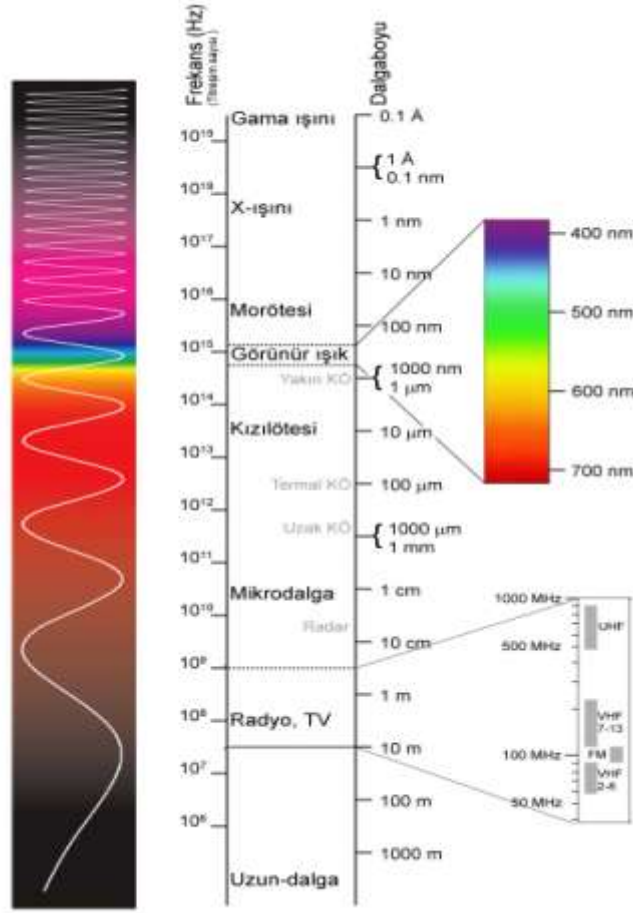
Şekil 2.2 Elektromanyetik Dalgalar.

### 2.1.3 Elektromanyetik Spektrum

Yer küre üzerindeki ışınım, dalga boyu, frekans gibi parametrelere ait bilgileri sunan yelpazeler, elektromanyetik spektrum olarak ifade edilmektedir (Sefercik 2014).

Elektromanyetik spektrum, en küçük dalga boyundan (nanometre) başlayıp en büyük dalga boylarına (kilometre) kadar uzanan ve ışık hızında hareket eden sürekli bir enerji ortamıdır (Şekil 2.3). Elektromanyetik spektrumda dalga boyunun ölçü birimi olarak mikrometreye eşit olan ‘mikron’ ( $\mu$ ) kabul edilmektedir. Bir mikronun metre olarak karşılığı ise  $1 \times 10^{-6}$  m’dir. algılayan bölge, yansıtıcı bölge olarak ifade edilmektedir. Yansıtıcı bölge elektromanyetik spektrum üzerinde  $0.38 - 3.0 \mu\text{m}$  aralığındadır. Yansıtıcı bölge kendi içerisinde görünür ve yansıtıcı kızıl ötesi olmak üzere iki bölgeye ayrılır. Görünür bölge, insan gözünün algılama yapabildiği bölgedir. Bu bölge  $0.38 - 0.72 \mu\text{m}$  aralığına denk gelmektedir. Yansıtıcı kızıl ötesi bölge ise yakın kızıl ötesi (NIR) ve kısa dalga kızıl ötesi bölgeleridir (SWIR). Yakın kızıl ötesi,  $0.72 - 1.1 \mu\text{m}$  aralığında ve kısa dalga kızıl ötesi de  $1.1 - 3.0 \mu\text{m}$  aralığındadır.

## ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM



Şekil 2.3 Elektromanyetik Spektrum (URL3).

Uzaktan algılamada, optik dalga boyları ve mikrodalga bölgeleriyle ilgilenilmektedir. Gözümüzün algıladığı ışınlar dışında, farklı emülsiyonlar kullanılarak  $0,3\text{-}1,5 \mu\text{m}$  arasında pasif algılamaya dayalı optik görüntü elde edilir. Aktif algılayıcılar ise,  $1\text{-}1000 \text{ mm}$  arasındaki mikro dalga bölgesinde algılama yapmaktadırlar (Sefercik 2014).

### 2.1.4 Atmosferik Etkiler

Uzaktan algılama sistemlerindeki bütün algılayıcıların algıladıkları elektromanyetik ışınlar, algılanmadan önce atmosferde belirli bir yol almaktadırlar. Güneş'ten yeryüzüne gelen enerji atmosferden geçerek bu yolu alır. Yeryüzüne gelen bu enerji atmosfer yolculuğu boyunca bir takım etkilere uğramaktadır. Enerjinin atmosferde etkilendiği etkenler; saçılma, yutulma ve yansımadır. Atmosferik yutulma; enerjinin, atmosferi oluşturan bileşenler tarafından yutulması durumudur. Yutulmaya neden olan temel bileşenler; ozon karbondioksit ve su buharıdır (Maktav ve Sunar 1990).

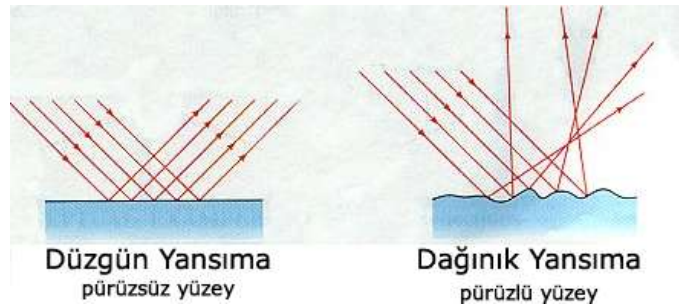
Saçılma, Güneş'ten gelen ışık atmosferde aldığı yol boyunca gazlar ve parçacıklar tarafından elektromanyetik ışınının yeniden yönlendirmesi durumudur. Atmosferde üç çeşit saçılım meydana gelmektedir:

**Rayleigh saçılması;** saçılmaya neden olan parçacıkların boyutu, gelen enerjinin dalga boyundan küçük olması durumunda gerçekleşen saçılma durumudur. Uzun dalga boyunda saçılım daha az olmaktadır. Gökyüzünün mavi renkte görünmesi sebebi; mavi rengin dalga boyu en küçük olmasından dolayı atmosferde en fazla saçılmasıdır.

**Mie saçılması;** gelen ışığın dalga boyu ile saçılmaya neden olan parçacıkların aynı büyüklükte olması durumunda meydana gelen saçılmadır. Toz, duman, kapalı hava gibi etmenler mie saçılmasına sebep olmaktadır.

**Serbest (seçmesiz) saçılma;** gelen enerjinin dalga boyunun saçılmaya neden olan taneciklerin dalga boyundan küçük olması durumunda meydana gelen saçılma türüdür. Tüm dalga boylarında eşit saçılım meydana gelmektedir. Serbest saçılmanın gerçekleşmesi durumunda mavi+yeşil+kırmızı renklerin eşit saçılmasından dolayı sis ve bulutlar beyaz renkte olacaktır (Sefercik 2014).

Enerji kaynağından gelen elektromanyetik ışınlar yeryüzündeki cisimlerin yüzeylerinin geometrisine göre yansımaktadır. Yansıma meydana gelen cisim düzgün bir yüzeyden oluşuyorsa gelen elektromanyetik ışın düzgün bir yansıma gerçekleştirecektir. Yansıma yapan cisim pürüzlü bir yüzeye sahip ise dağınık bir yansıma meydana gelmektedir (Şekil2.4). Uzaktan algılamada düzgün yüzey ve düzgün yansıma ayna etkisi oluşturduğundan tercih edilmemektedir.



Şekil 2.4 Yüzeylerin geometrisine göre yansıma tipleri (URL4).

### 2.1.5 Uzaktan Algılamanın Kullanım Alanları

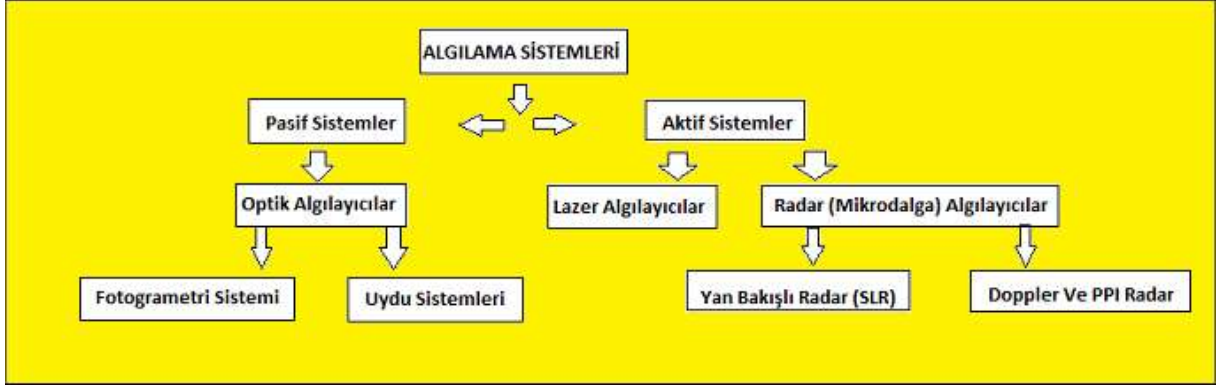
Bilim dünyasında gittikçe adından söz ettiren ve gelişimini sürekli olarak devam ettiren uzaktan algılama biliminin birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bu kullanım alanları çok kapsamlı olmakla birlikte genel başlıklar altında Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1** Uzaktan Algılamanın Kullanım Alanları.

<b>Uzaktan Algılamanın Kullanım Alanları</b>	
<b>Haritacılık Uygulamaları</b>	Orto görüntülerin üretilmesi, Sayısal arazi modellerinin üretilmesi, Yer küre üzerindeki deformasyonların izlenmesi, Topografik harita üretimi
<b>Hidrolojik Uygulamalar</b>	Deniz, göl ve akarsu kirliliği inceleme, Su kaynakları yönetimi, Su kalitesi analizi, Sel haritası ve izleme, Gemi atıkları izleme, Sel haritalaması ve izlenmesi, Nehir yataklarının izlenmesi
<b>Jeolojik Uygulamalar</b>	Petrol aramaları, Çevresel jeoloji, Jeotermal enerji araştırmaları, Fay hatlarının ve kırıkların haritalanması, Deprem araştırmaları, Maden ve yer küre kaynaklarının araştırılması
<b>Ormancılık Uygulamaları</b>	Orman yangını izleme, Orman gelişimi yönetimi, Orman bitki örtüsünün araştırılıp haritalanması, Orman türlerinin belirlenmesi ve haritalanması, Ormansızlaşma ve çölleşmenin izlenmesi
<b>Tarım Uygulamaları</b>	Tarımsal alan yönetimi, Tarım ürünlerinin rekolte tayini, Ürün cinsinin belirlenmesi, Tarım faaliyetlerinin düzenlenmesi, Toprak türünün belirlenmesi, Sulama planlanması ve izlenmesi, Organik Ve inorganik maddelerin belirlenmesi
<b>Diğer Uygulamalar</b>	Meteoroloji, Ulaşım planlaması, Turizm, Afet ve kriz yönetimi, Savunma ve güvenlik, Çevre planlaması, Kentsel ve bölgesel planlama, Arkeoloji

### 2.2 ALGILAMA SİSTEMLERİ

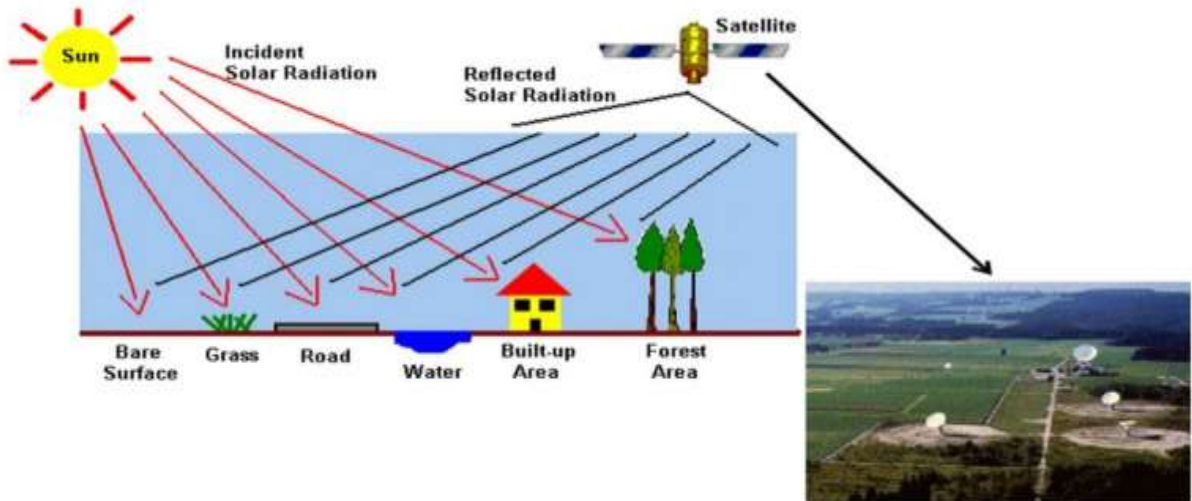
Algılama sistemleri uzaktan algılamanın en önemli parçasıdır. Uzaktan algılama sistemleri, kullanılan enerji kaynağına bağlı olarak pasif algılama ve aktif algılama sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Uzaktan Algılamada kullanılan pasif ve aktif algılama sistemleri Şekil 2.5’de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Algılama Sistemleri.

### 2.2.1 Pasif Algılama Sistemleri

Pasif sistemler, yeryüzünün fitratında yer alan yayılım enerjisi veya Güneş enerjisinin yansıtımını algılayan optik, ısı ve mikrodalga algılayıcılardır (Smith 2000). Bir başka deyişle, Güneş gibi başka bir kaynaktan gelen ışınların cisimlere çarptıktan sonra uyduya ulaşarak elde edilen algılama yöntemidir. Pasif algılama sisteminin Güneş'e bağımlı olmasından gece algılama yapılamamaktadır. Bununla birlikte bulutlu ve yağışlı havalarda da sistem kullanılamamaktadır. Ayrıca pasif sistemlerin Güneş enerjisini kullanması maliyet açısından tasarruf sağlamaktadır. Pasif algılama sisteminin çalışma prensibi Şekil 2.6'da görülmektedir.



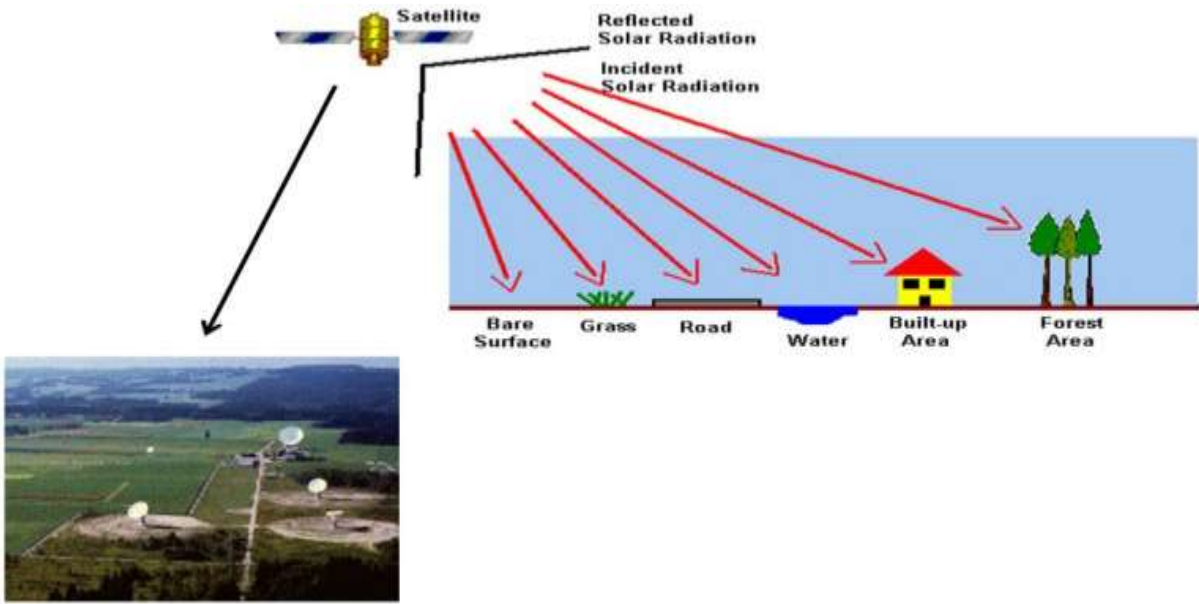
Şekil 2.6 Pasif Algılama (URL5).



Optik algılayıcılar, pasif algılama sistemi ile çalışan algılayıcılardır. Optik algılayıcılar, fotogrametri ve uydu sistemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

## 2.2.2 Aktif Algılama Sistemleri

Aktif algılama sistemleri kendi enerjilerini kendileri üretip kullanırlar. Yeryüzü üzerindeki cisme ürettikleri elektromanyetik sinyali gönderirler ve cisimden yansıyan enerjiyi kaydederek cismin özelliklerini belirlemektedirler. Aktif algılayıcılar, Güneş'e bağımlı olmadıklarından gece-gündüz sürekli algılama yapmaktadırlar. Kendi enerjilerini kendileri ürettiklerinden hava koşullarından da etkilenmemektedirler (Campbell ve Wynne 2011). Aktif algılama prensibi Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.7 Aktif Algılama(URL5).

Lazer ve radar (mikrodalga) algılayıcılar, aktif algılama sistemi ile çalışmaktadırlar. Radar algılayıcılar; yan bakışlı radar (SLR/SLAR), Doppler radar ve düzlemsel göstergeli radar (PPI) olmak üzere üç çeşittir. Radar algılayıcılar Bölüm 2.3'de detaylı olarak açıklanacaktır.

## 2.3 RADAR (MİKRODALGA) ALGILAYICILAR

Radar, Türkçede telsizle saptama ve mesafe tayini anlamına gelen, "Radio Detection And Ranging" sözcüklerinin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. Görüntüleme yapan aktif

mikrodalga sistemlerin en yaygın kullanılanı radarlardır. Bu nedenle radar bilim dilinde mikrodalga algılamanın diğer adı olarak anılmaktadır.

Radar sistemlerin başlangıcı olarak 1800 yılların ortası kabul edilmektedir. 1865 yılında İngiltereli bilim adamı Clerk Maxwell elektromanyetik dalgaların yayılımını ortaya koyan elektromanyetik ışık kuramı, radar teknolojisinin ilk adımıdır. Bu gelişmeden sonra elektromanyetik dalgalar üzerinde çalışmalar yapan Hertz 1886 yılında elektromanyetik dalgaların taşınabildiğini bulmuştur. Ayrıca elektromanyetik dalgaların herhangi bir cisim ile temas ettiği takdirde bir yansıma meydana geldiğini ispatlamıştır.

20. yüzyılın başlarında yer bazlı radarlar geliştirilerek gemilerin izlenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. 1930'lu yıllarda radar teknolojisi uçaklara monte edilmiştir. İkinci dünya savaşında ülkeler savunma amaçlı olarak radar sistemlerini geliştirmişler. Radar sistemler yardımıyla düşman ülkelerin uçakları önceden tespit edilip önlemler alınmıştır. 1950'li yıllarda Yan Bakışlı Radar (SLR/SLAR) sistemi uçaklara yerleştirilmiştir. İlk olarak Gerçek Açıklıklı Radar (RAR) teknolojisi kullanılmıştır. Ancak RAR sisteminde çözünürlük anten uzunluğuna bağlı olduğundan çok uzun antenlere ihtiyaç duyulmuştur. RAR sistemindeki bu problemten dolayı Yapay Açıklıklı Radar (SAR) sistemleri geliştirilmiştir. SAR sistemi ile çözünürlükte oldukça iyi sonuçlar alınmaya başlanmıştır.

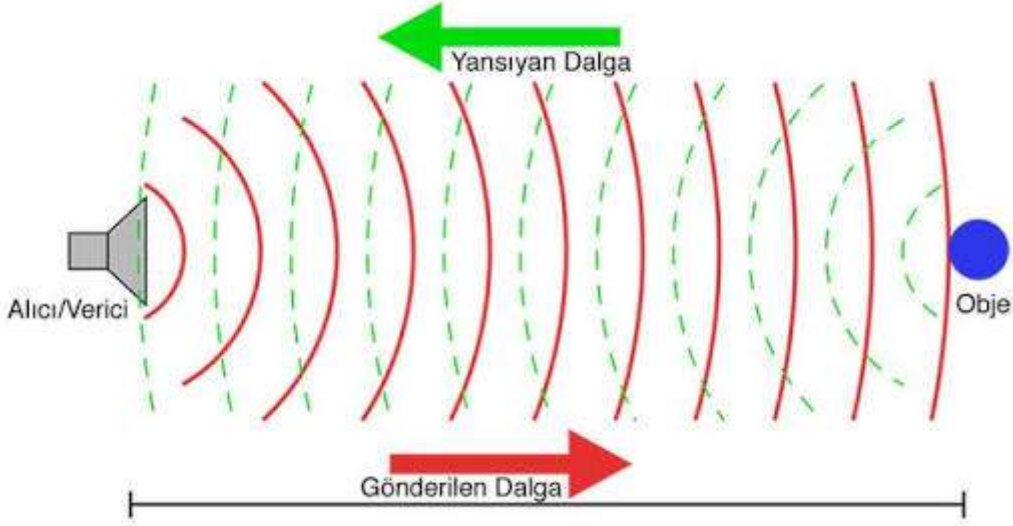
Radar sistemlerindeki gelişim 1950'li yıllardan sonra radarların uydulara monte edilmesi ile devam etmiştir. Bu sayede daha geniş alanlar üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bilgisayar ve yazılımların gelişmesine paralel olarak radar sistemlerin gelişimi de devam etmektedir.

### **2.3.1 Radar Algılayıcıların Temel Prensibi**

Radar görüntüleme, optik görüntüleme mantığından tamamen farklı bir mantığa sahiptir. Optik görüntülemede; hedef objelerden gerçekleşen spektral yansımaların algılanmasına dayalı kimyasal bir işlem gerçekleşmektedir. Radar görüntülemede ise; gönderici ve alıcı antenler yardımıyla hedef objelere radio ve mikrodalga sinyaller gönderilmekte ve bu objelere çarpıp dönen sinyaller kaydedilerek fiziksel bir işlem gerçekleşmektedir (Sefercik, 2015). Mikrodalga sinyallerin gönderilmesi ve tekrar algılanması işlemi aynı radar anteni tarafından gerçekleştirilmektedir. Radar algılama sisteminde kullanılan bu anten, 300 MHz ile 30 GHz

frekanslarına denk gelen ve 1cm'den 1m'ye kadar değişen dalga boylarına sahip mikrodalga sinyalleri çalışma gerçekleştirilecek hedef bölgeye gönderdikten sonra hedeften dönen sinyalleri tekrar toplamaktadır (Curlander 1991).

Radar algılayıcıların çalışma prensibini basit bir şekilde açıklayan gösterim şekil 2.8'de verilmiştir.



şekil 2.8 Radar sistemlerin çalışma prensibi (URL7).

Radar sistemlerin diğer sistemlerden ayıran bazı üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir:

- Radar sistemlerin en büyük artısı aktif algılama sistemi olmasıdır. Bu sayede kendi enerjisini kendisi üreterek Güneş' den bağımsız bir şekilde gece gündüz çalışmaktadır. Ayrıca her türlü hava şartında yer küre üzerinde algılama yapabilmektedir.
- Suyu ve bağıl nemi çok hassas bir şekilde algılayabilmektedir.
- Deniz ve karasal alanlardaki morfolojik değişimleri ve yer küre topografyasındaki değişimleri çok hassas olarak algılayabilmektedir.

Radar sistemlerin aktif algılamanın yanında, pasif algılama yapan sistemleri de bulunmaktadır. Bunlar termal bölgede çalışan pasif sistemler ile aynı prensipte çalışırlar. Cisimlerin yaydıkları mikrodalga enerjii kaydederek yüzey sıcaklığı ve nemlilik gibi özelliklerin belirlenmesi amacıyla kullanılırlar. Pasif radarda, antenler yerine radiometre ve

tarayıcılar kullanılmaktadır. Ancak pasif radar algılama sistemleri, yer küre üzerindeki cisimlerden yayılan mikrodalga enerjinin çok zayıf olmasından dolayı tercih edilen bir yöntem değildir (Sefercik 2015).

### 2.3.2 Radar Bandları

Radarlar, elektromanyetik spektrumda bulunan radar bandlarını kullanmaktadırlar. Bu bandlar ve özellikleri Çizelge 2.2’de görülmektedir.

Çizelge 2.2 Radar Bandları.

Band	Frekans (GHz)	Dalga Boyu (cm)
P	0.225-0.390	1.33-76.9
L	0.390-1.550	76.9-19.3
S	1.550-4.200	19.3-7.10
C	4.200-5.750	7.10-5.20
X	5.750-10.90	5.20-2.70

- P,L,S bandlarının penetrasyonu (ayırma gücü) yüksek, çözünürlükleri düşüktür. Bu yüzden daha çok ormancılık alanında, obje çıkarımında kullanılmaktadırlar.
- C ve X bandlarının ise; ayırma güçleri düşük, çözünürlükleri yüksektir. Genel olarak haritacılık faaliyetlerinde kullanılmaktadırlar.
- Yukarıdaki kullanım alanlarına ek olarak; S ve C bandları meteorolojik amaçlı, X bandı polis radarlarında ve L bandı askeri ve sivil amaçlı uçakların algılanmasında kullanılır (URL8).

### 2.3.3 Radar Algılama Sistemleri

Üç çeşit radar algılama sistemi mevcuttur. Bunlar:

- Doppler Radar
- Düzlemsel Göstergeli Radar (PPI)
- Yan Bakışlı Radar (SLR-SLAR)
  - Gerçek Açıklıklı Radar (RAR)
  - Yapay Açıklıklı Radar (SAR)

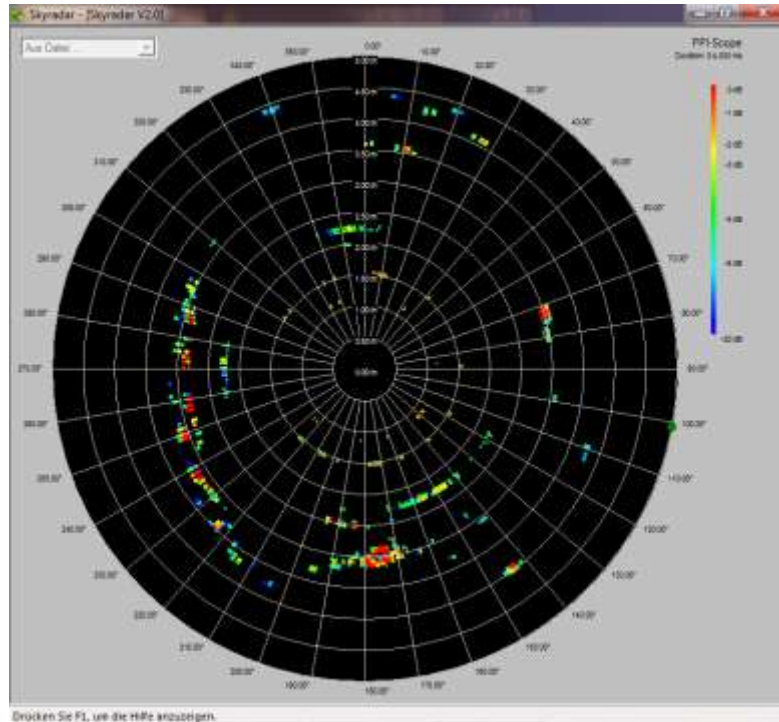
### 2.3.3.1 Doppler Radar

Doppler Radar sisteminde objeye çarpıp dönen radar ışını kaydedilir. Kaydedilen ışının dalga boyu ve frekansı yardımıyla radyal hareket hızı belirlenir. Doppler radar sistemi diğer radar sistemlerinden farklı olarak hedefin yerini belirlemekle kalmayıp aynı zamanda radara yaklaşıp yaklaşmadığını da belirleyebilmektedir. Doppler radar algılayıcılarda görüntü kaydı yapılması mümkün değildir (Sefercik 2015).

Doppler radar sistemi genellikle; hava savunma, polis hız tespiti uygulamaları ve radyoloji alanında kullanılmaktadır.

### 2.3.3.2 Düzlemsel Göstergeli Radar (PPI)

Düzlemsel Göstergeli Radar (PPI) sisteminde ise; dönel anteni etrafında tespit ettiği objelere ilişkin devamlı tazelenen ekran görünümü sağlanmaktadır. Bu şekilde objelere olan uzaklıklar ve yerden yükseklikler eş merkezli daireler şeklinde sürekli olarak çizdirilir (Sefercik, 2015). Kutupsal koordinatlarda sabit bir yükseklik ve istenilen azimut açısında belirli bir mesafeye kadar eko sinyallerinin şiddetlerinin ekranda görüntülenmesi sistemidir (URL9). Düzlemsel göstergeli radara ait bir ekran görünümü Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 Düzlemsel Göstergeli Radar (PPI) (URL10).

Düzlemsel göstergeli radar sistemi genellikle; meteoroloji, hava trafik kontrolü ve gemiler ile uçaklarda kullanılmaktadır.

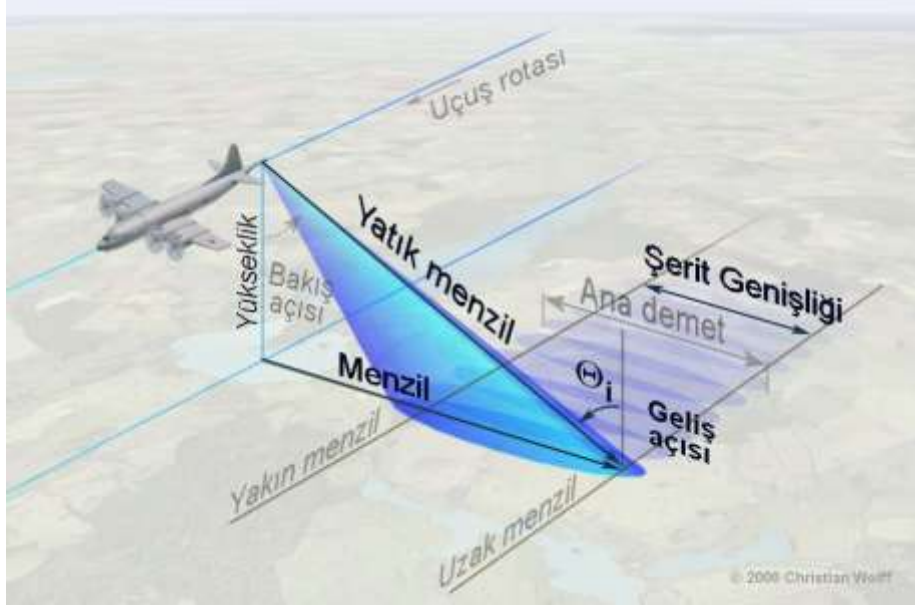
### 2.3.3.3 Yan Bakışlı Radar (SLR-SLAR)

En çok kullanılan radar algılayıcı tipidir. 1950'lerin başında askeri amaçlı olara arazi tarama için geliştirildi. Daha sonraki yıllarda sivil hizmete açıldı. Uzaktan algılamada ilk olarak tropik bölgelerde bulut kaplı alanlarda test edildi. Yan bakışlı radar platformu, düz bir rotada ve sabit bir irtifada hareket eden bir uçak veya uydu olabilir (Şekil 2.10).



**Şekil 2.10** Yan Bakışlı Radar Sistemi (URL11).

SLR sisteminde radar, uçuş yönüne paralel doğrultuda bir şerit aydınlatmada ve aydınlatılan bölgeden ölçüm verileri elde edilmektedir (Şekil 2.11). Bu aydınlatma işlemi gerçekleştirilirken antenlerden faydalanılmaktadır.



Şekil 2.11 SLR Uçuş Geometrisi (URL12).

Aydınlatılan bu şeridin genişliği yan bakış yeteneği ile sağlanmaktadır. Anten ışın genişliği ( $\beta$ ), yayılan ışının dalga boyu( $\lambda$ ) ile doğru orantılı anten uzunluğu ( $AL$ ) ile ters orantılıdır. Bu durumda ışın genişliği eşitlik (2.1)'deki gibi olur.

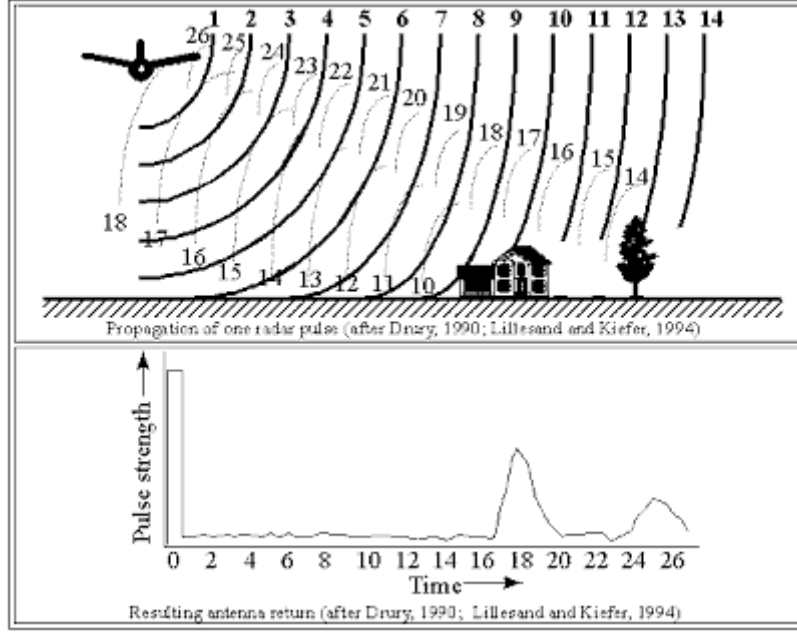
$$\beta = \frac{\lambda}{AL} \quad (2.1)$$

Enerji havada yaklaşık olarak ışık hızında yayılmaktadır. Bu durumda cisme olan eğik mesafe ışık hızı ( $c$ ) ve zamana ( $t$ ) bağlıdır. Sonuç olarak eğik mesafe (2.2) eşitliğine göre elde edilir.

$$S_R = \frac{c \times t}{2} \quad (2.2)$$

### Yan bakışlı Radar Sisteminin (SLR) Görüntüleme Mantığı

Yan bakışlı radar sisteminde, gönderici bir anten tarafından mikrodalga enerji kısa pulslar halinde yayılır. Objelere ulaşan pulslar yansyarak tekrar antene geri döner ve anten algılama grafiğine, aradaki yansyıp-dönme zamanına göre kaydedilirler (Şekil 2.12).



**Şekil 2.12** Radar Pulsunun Yayılımı ve Anten Algılama Grafiği (URL13).

Objelerin yansıtma güçlerine göre sinyal daha güçlü veya zayıf kaydedilir. Sinyal yansımaların elektronik ölçümü ile gönderici anten ve yansıtıcı objeler arasındaki uzaklık belirlenir (Sefercik 2015). Örneğin; bir evden yansıyan sinyalin, bir ağaçtan yansıyan sinyale göre daha güçlü olduğu Şekil 2.12’deki anten algılama grafiğinde görülmektedir.

### **Yan Bakışlı Radar (SLR) Sisteminde Çözünürlük**

SLR sisteminde çözünürlüğü, mesafe ve azimut çözünürlüğü olmak üzere iki başlık altında inceleyebiliriz. Ancak bu çözünürlüklere geçmeden önce radar algılamadaki dijital görüntü çözünürlüğünden kısaca bahsetmek gereklidir.

Yer küre üzerinde bulunan cisimlerden ve uzaydaki objelerden yansıyan enerji, algılayıcılar tarafından algılanarak, dijital bir forma dönüştürülmektedir. Dijital forma dönüştürülerek elde edilen görsel ürünlere ise dijital görüntü denilmektedir. Dijital görüntüler, raster formatında olan ürünlerdir. Bir raster X ve Y koordinatları ile tanımlı gridlerden oluşur. Bu gridlerin her birine piksel adı verilir. Her bir piksele karşılık gelen sayısal bir değer mevcuttur. Görüntünün radyometrik çözünürlüğüne göre değişen sayısal değer, Dijital Number olarak ifade edilip DN olarak gösterilir (Sefercik 2015).

Dijital görüntünün çözünürlüğü oluşturan 4 çözünürlük çeşidi şunlardır:



- Mekansal (geometrik) çözünürlük
- Spektral çözünürlük
- Radyometrik çözünürlük
- Zamansal çözünürlük

**Mekansal çözünürlük;** görüntünün en küçük yapı taşı olan pikselin büyüklüğünü ifade etmektedir. Yani bir pikselin çalışma yapılan alan üzerindeki kapladığı alan bize mekansal çözünürlüğü vermektedir. Örneğin; Rasat uydusunun mekansal çözünürlüğü, pankromatik 7.5 m ve multispektral 15m'dir.

**Spektral çözünürlük;** algılayıcıda bulunan spektral band sayısını ve bandların genişliğini ifade eden çözünürlük çeşididir. Örneğin; Rasat uydusunun spektral çözünürlüğünde band sayısı RGB+Pan (kırmızı, yeşil, mavi + pankromatik), band genişliği ise 0.42-0.73  $\mu\text{m}$ 'dir

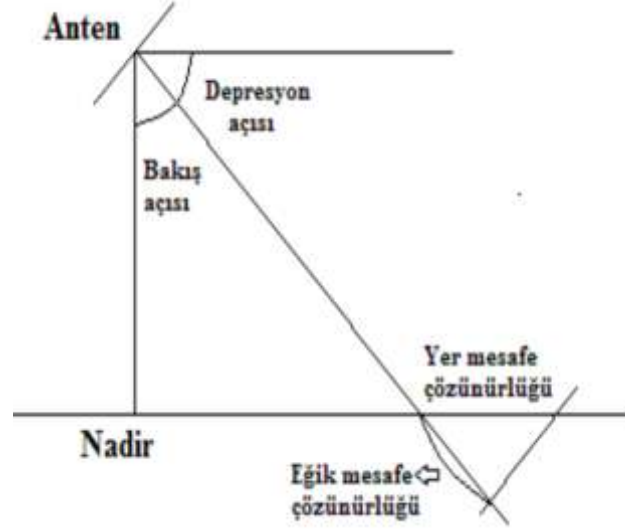
**Radyometrik çözünürlük;** gelen elektromanyetik enerjideki en ufak farklılıkları ayır edebilme kabiliyeti olarak ifade edilir. Bir başka deyişle görüntüdeki gri değeri sayısıdır. Dijital görüntüdeki gri değerleri, parlaklığın kaydedilmiş ölçüsü olup belirli sınırlar arasındadır. Bu sınırlar  $0 - 2^n - 1$  şeklinde tanımlanır. Örneğin; Rasat uydusunun radyometrik çözünürlüğü 8 bittir. Yani,  $2^8 = 256$  gri değeridir. 0-255 arasında değişen veri değerine sahiptir.

**Zamansal çözünürlük;** görüntünün alım periyodu olarak tanımlanır. Yani, algılayıcının bir noktadan tekrar geçme süresine zamansal çözünürlük denilmektedir. Rasat uydusunu zamansal çözünürlüğü 4 gündür.

### **SLR Sisteminde Mesafe Ve Azimut Çözünürlüğü**

Radardan gelen sinyal doğrultusunda yeryüzünde bulunan birbirine yakın iki cismin SLR sisteminde tek bir cisimmiş gibi görünmemesi için bu iki cismin anten tarafından ayrı ayrı algılanması gerekmektedir. Bu iki cisimden yansıyan sinyaller arasında oluşacak bir zaman bindirmesinde birlikte kayıt olacaklarından tek bir cisim olarak görüneceklerdir (Sefercik 2015).

SLR sisteminde eğik mesafe çözünürlüğü antenden olan uzaklık ile değişmez. Ancak eğik mesafe yatay mesafeye dönüştürüldüğünde yer çözünürlüğü depresyon açısına bağlıdır. Mesafe yönündeki yer çözünürlüğü, yatay yer düzlemi ile radar anteni ve algılanan cisim birleştiren doğru arasındaki açının Cosinüs'ü ile ters orantılı olarak değişmektedir. Bu açı depresyon açısı( $\theta_d$ ) olarak ifade edilmektedir. Bakış açısı ise depresyon açısının tümleridir (Şekil 2.13) (Lillesand ve Kiefer 2000).

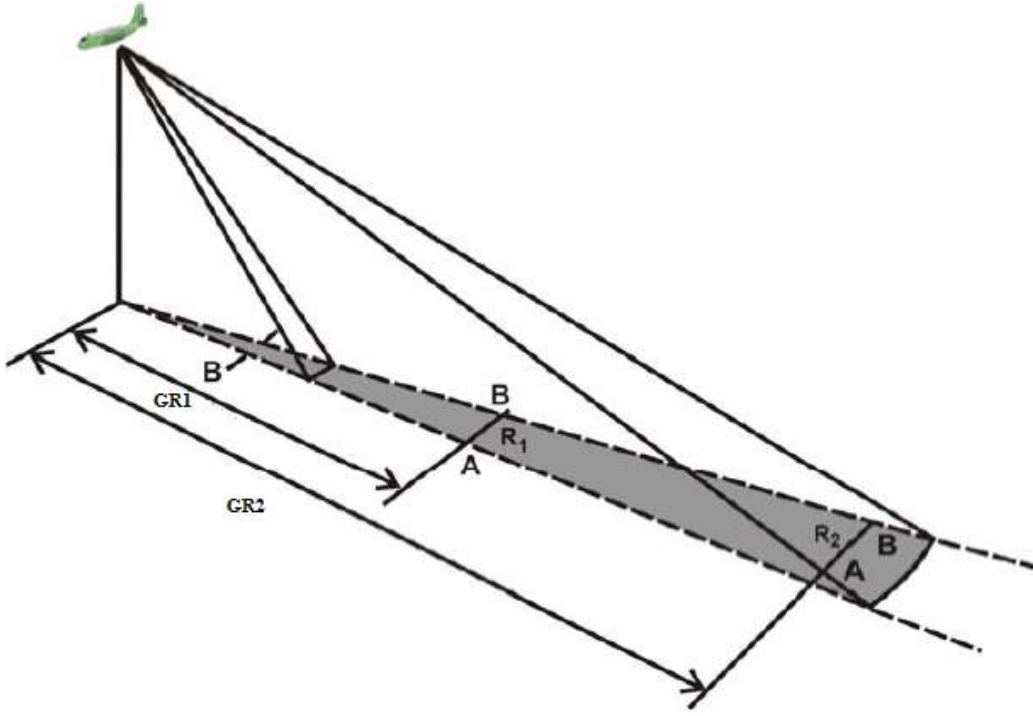


Şekil 2.13 SLR sisteminde mesafe çözünürlüğü.

SLR sisteminde mesafe yönündeki yer çözünürlüğü ( $R_{es}$ ); depresyon açısına ( $\theta_d$ ), ışık hızına ( $c$ ) ve puls süresine ( $t$ ) bağlı olarak eşitlik (2.3) ile hesaplanır.

$$R_{es} = \frac{c \times t}{2 \cos \theta_d} \quad (2.3)$$

Azimut yönündeki SLR sistem çözünürlüğü, radarın uçuş doğrultusundaki çözünürlüktür. Anten ışını, uydu veya uçaktan artan uzaklıkta yayıldığından azimut çözünürlüğü buna bağlı olarak değişmektedir (Şekil 2.14).



**Şekil 2.14** SLR sisteminde azimut çözünürlüğü (Lillesand and Kiefer 2000'den değiştirilerek).

Azimut çözünürlüğü ( $R_{AZ}$ ), anten ışın genişliğinin ( $\beta$ ) açısal olarak radyan değeri ile eğik uzaklıktan dönüştürülen yatay yer uzunluğunun ( $GR$ ) çarpımıdır ( Eşitlik 2.4 ).

$$R_{AZ} = GR \times \beta \quad (2.4)$$

Şekil 2.14'deki A ve B noktalarındaki cisimler  $GR_1$  uzunluğunda ve  $R_1$  azimut çözünürlüğünde birbirlerinden ayırt edilebilirken  $GR_2$  uzunluğunda ve  $R_2$  azimut çözünürlüğünde ayırt edilemezler. Bunun sebebi  $GR_1$  uzaklığında A ve B cisimleri ayrı dönüş sinyalleri üretmesi,  $GR_2$  uzaklığında ise aynı sinyal üzerinde kayıt edilmeleridir.

### **RAR Ve SAR Sistemleri**

Yan bakışlı radar sisteminde anten ışın genişliği yayılan elektromanyetik enerjinin dalga boyu ile doğru orantılı anten uzunluğu ile ters orantılıdır. SLR sistemi anten ışın genişliğinin

kontrolüne göre Gerçek Açıklıklı Radar (RAR) ve Yapay Açıklıklı Radar (SAR) sistemlerinden meydana gelmektedir.

### **Gerçek Açıklıklı Radar (RAR)**

SLR teknolojisinde ilk kullanılan sistem gerçek açıklıklı radar (RAR) sistemidir. RAR sisteminin mekansal çözünürlüğü, kullanılan antenin boyutuna göre değişmektedir. Bunun sebebi; RAR sisteminde anten ışın genişliğinin fiziksel anten uzunluğuna bağlı olmasıdır. Bunun sonucu olarak uzun antenin daha iyi mekansal çözünürlük verdiğini söyleyebiliriz. Ancak RAR sisteminin fiziksel anten boyundan dolayı sağladığı uzaysal çözünürlük birkaç kilometredir. Daha iyi çözünürlük elde edilebilmesi için anten boyunun kilometrelere çıkarılması gerekir. Ancak gelişen teknoloji doğrultusunda bu uzunluklardaki bir anteni bir platforma yerleştirmek çok anlamsız ve ilkindir (Sefercik 2015).

RAR sisteminde ki anten uzunluğunu düşük tutabilmek için, küçük dalga boylarında ve düşük irtifalarda çalışılmak zorunda kalınmıştır. Ayrıca uzaysal çözünürlüğün çok düşük olmasından dolayı, RAR sistemi haritacılık faaliyetlerinde kullanılmaya elverişli değildir. RAR sisteminin bu dezavantajlarından dolayı yapay açıklıklı radar sistemi geliştirilmiştir.

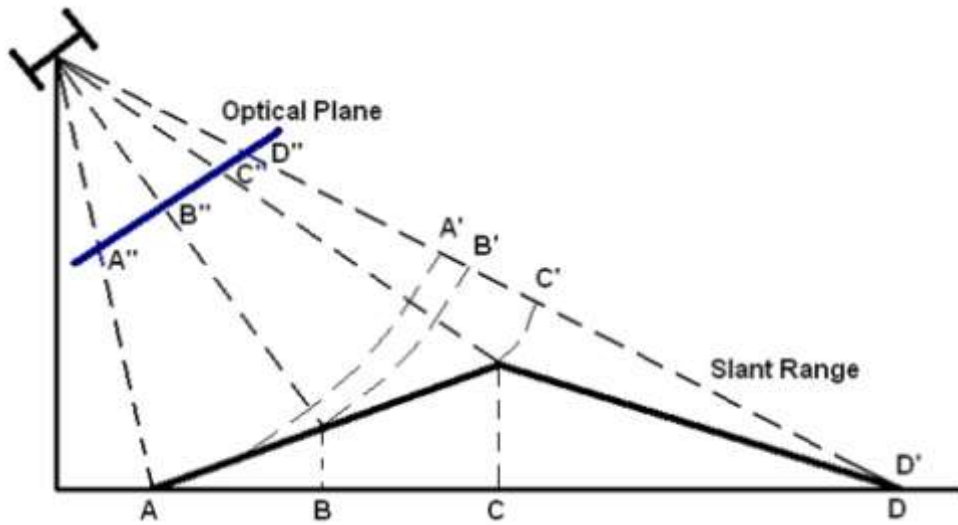
### **Yapay Açıklıklı Radar (SAR)**

Gerçek açıklıklı radar sisteminde yüksek çözünürlük elde edilebilmesi için çok uzun antenler ile çalışılması gerektiğini söylemiştik. Ancak uydu ve uçak platformlarında çok uzun antenler ile çalışmak mümkün değildir. Uçaklarda anten boyu 3-4 metre ile sınırlıdır. Uydularda ise bu sınırlama 15 metredir. Bu sorunun çözümüne yönelik olarak çok uzun anten boylarının yapaylaştırılması düşüncesi ortaya atılmıştır. Bu düşünceden yola çıkarak anten uzunluğunu matematiksel bağıntılar yardımıyla yapaylaştırarak, Yapay Açıklıklı Radar (SAR) sistemi geliştirilmiştir.

SAR sistemi, çok kısa antenler kullanıp bu antenlerden matematikten de faydalanılarak çok uzun boylu anten etkisi elde eden, gelişmiş bir dijital sinyal işleme tekniğidir (Sefercik 2015). Aktif algılama sistemi olan SAR kendi enerjisini üreterek, geniş dalga boylarıyla gece-gündüz ve her türlü hava şartlarında sürekli olarak veri üretir.

## SAR Ve Optik Görüntüleme Farkı

Birbirinden farklı algılama prensiplerine sahip olan SAR ve optik sistemlerin tamamen farklı görüntüleme geometrileri Şekil 2.15’de verilmiştir. Şekilde, optik görüntüleme kullanılan kameralar C ve D noktalarını hemen yan yanaymış gibi algılamakta iken SAR sisteminde noktalar arasındaki mesafeyi, sinyallere bağlı eğik uzunluk ölçümü bazında açık olarak algılar (URL14).



Şekil 2.15 Optik ve SAR görüntüleme geometrileri arasındaki fark (URL14).

SAR ve optik sistemlerin farklı görüntüleme geometrileri nedeniyle aynı alana ait işlenmemiş görüntüleri farklı görünmektedir. Bu durumu açıklayan bir örnek olarak şekil 2.16 aşağıda verilmiştir. Şekildeki görüntüler, 1m pankromatik çözünürlüğünde olan IKONOS optik uydusu ve 1m çözünürlüğünde olan gelişmiş TerraSAR-X SAR uyduları tarafından aynı bölgeden alınmıştır(URL14).



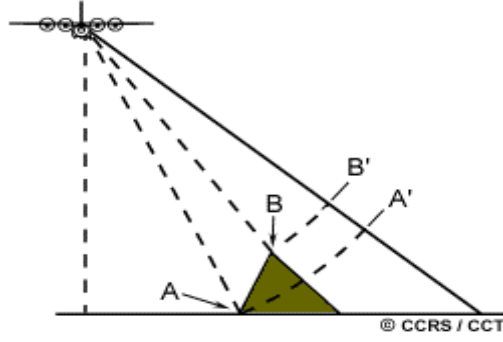
**Şekil 2.16** 1m IKONOS pankromatik görüntü (sol), 1m TerraSAR-X yüksek çözünürlüklü spotlight görüntü (sağ) (URL14).

### **SAR Sisteminde Distorsiyon**

Tüm algılama sistemlerinde olduğu gibi SAR sisteminde de yeryüzünü görüntüleme bazı distorsiyonlar (hata) oluşmaktadır. SAR sistemi diğere algılama sistemlerinden farklı bir yapıda olduğundan görüntüleme çok farklı hatalar söz konusudur. SAR görüntüleri; foreshortening (kısa görüntüleme), pseudo-shadow (ters gölge), layover (ters görüntüleme) ve shadow (gölge) distorsiyonlarına sahiptir (Elachi 1987).

### **Layover (ters görüntüleme)**

Türkçede ters görüntüleme olarak ifade edilen ve dik olan topografyaya bağlı olarak ortaya çıkan distorsiyondur. Layover distorsiyonun temel kaynağı topografyanın puls yayılım doğrultusundan daha eğimli olmasıdır. Layover etkisine uğrayan bir dağın tabanı ve tepesi SAR görüntüsünde yer değiştirir. Ters görüntüleme hatasında dağın tepesinden dönen sinyal, tabanından dönen sinyalden daha erken kaydedilmektedir (Sefercik 2006). Layover distorsiyonunu özetleyen geometri şekil 2.17’de sunulmuştur. Şekilde, dağın tepesini ifade eden B noktası, tabanını ifade eden A noktasından önce kaydedilmiştir.



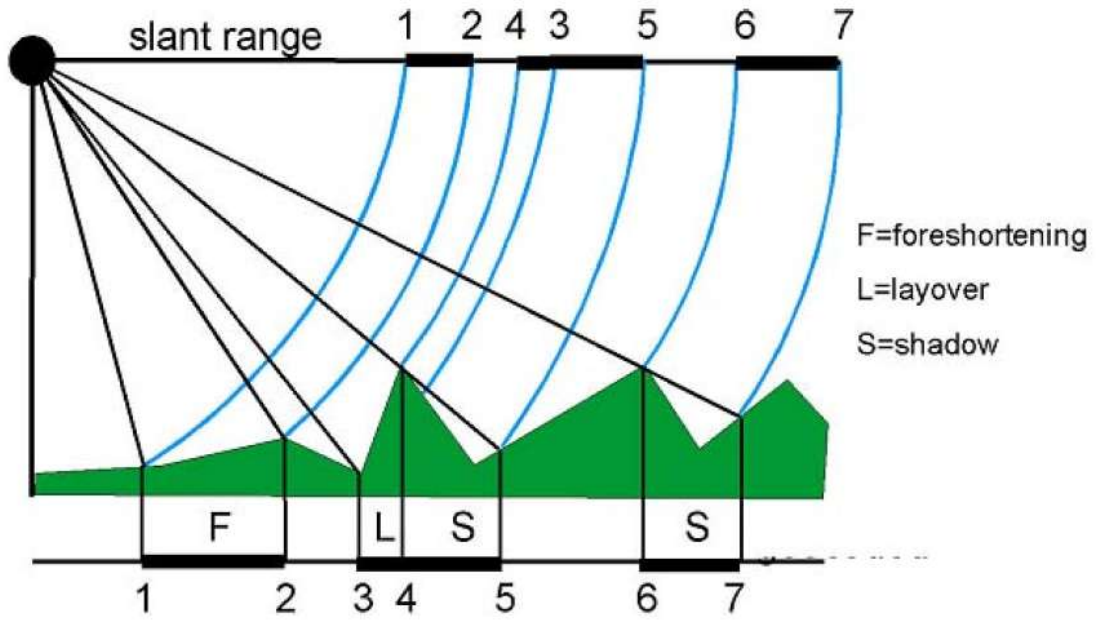
Şekil 2.17 Layover (URL15).

Puls yayılım doğrultusundan daha dik bir dağın yamacındaki vadi layover etkisine uğrar. SAR görüntüsünde layover etkisindeki bölgeler düşük eğim açıları nedeniyle parlak görünürler.

### **Foreshortening (kısa görüntüleme) ve Shadow (gölge)**

Kısa görüntüleme, genellikle dağlık alanlarda görülen bir distorsiyondur. Foreshortening distorsiyonundaki temel problem, çalışma yapılan alandaki objenin tepesinin radar antenine yakın olmasında erken kaydedilmesidir. Bu durumda objenin tepesi ile tabanı arasındaki mesafe olması gereken mesafeden daha kısa görünür (Sefercik 2006).

Shadow, yeryüzü üzerinde ışın demeti tarafından aydınlatılmayan alanlarda gerçekleşen distorsiyondur. Aydınlatma gerçekleştirilemediğinden görüntüde karanlık bir bölge oluşur. Bu distorsiyonun ortaya çıkmasındaki ana etken, görüntüleme yapılan objenin eğiminin SAR anteninin depresyon açısından daha dik olmasıdır. Foreshortening ve shadow distorsiyonların geometrisi şekil 2.18' de özetlenmiştir. Şekilde, 1 ve 2 noktaları arasında kalan F alanı foreshortening etkisinde kalıp olması gerekenden daha kısa görünmüştür. 4-5 ve 6-7 noktaları arasında aydınlatılma gerçekleşemediğinden gölgelenme meydana gelmiştir. Ayrıca L bölgesinde de layover distorsiyonunun gerçekleştiği şekilde ifade edilmiştir.



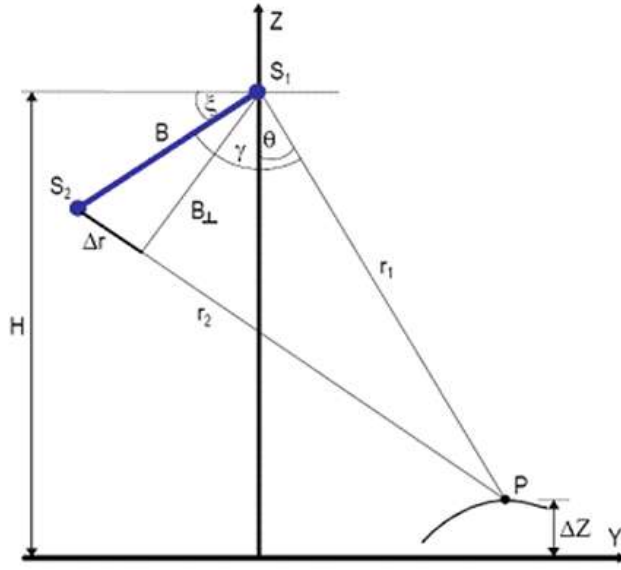
Şekil 2.18 SAR sisteminin distorsiyon geometrisi(Sefercik 2006).

### InSAR Tekniği

InSAR sözcüğü, İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar anlamına gelen, **I**nterferometric **S**ynthetic **A**perture **R**adar kelimelerinin baş harflerinden oluşur. Radar interferometri tekniği, yeryüzünün 3 boyutlu hesaplanmasına olanak veren bir tekniktir.

SAR sisteminde sinyal ve faza dayalı bir işlem söz konusudur. InSAR sisteminde sinyal genliği ile beraber faz bilgisi de kullanılarak objelere ait yükseklik bilgisi elde edilir. Yükseklik bilgisinin elde edilebilmesi için temel olarak, aynı bölgeye ait farklı bakış açılarıyla elde edilmiş 2 SAR görüntüsü kullanılır. Elde edilen bu karmaşık SAR görüntüleri arasındaki faz farkı ortak pikseller temelinde hesaplanır. InSAR tekniğine ait geometri şekil 2.19’da sunulmuştur (Sefercik 2006).





- H = S<sub>1</sub>'den olan yükseklik
- B = SAR antenleri arasındaki baz uzunluğu
- θ = S<sub>1</sub>'den olan bakış açısı
- ξ = Baz uzunluğu eğimi (deklınasyonu)
- λ = Dalgaboyu
- Δφ = Faz farkı
- π = pi ~ 3.1416
- r<sub>1</sub>, r<sub>2</sub> = Hedef nokta ile SAR antenleri arasındaki eğik uzunluklar
- P = 1, 2 (Tek veya çift geçiş InSAR katsayısı)
- ΔZ = Hedef noktanın yüksekliği

Şekil 2.19 İnsar tekniğinin geometrisi (Sefercik 2006).

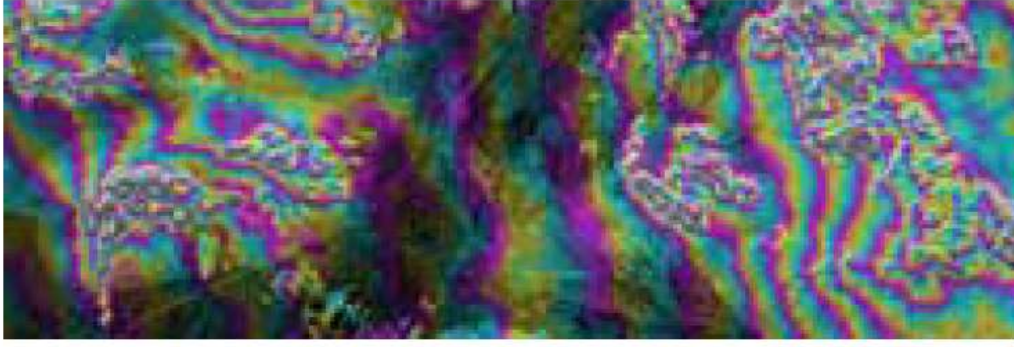
Şekildeki InSAR geometrisi doğrultusunda faz farkı, dalga boyu ve Δr değerine bağlı olarak (2.5) eşitliği ile bulunur;

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = (4\pi \div \lambda) \times (\Delta r) \quad (2.5)$$

Faz farkı belirlendikten sonra, gerekli matematiksel işlemler ve düzeltmeler uygulanarak hedef objenin (noktanın) yüksekliği (2.6) eşitliği ile elde edilir;

$$\Delta Z = H - r_1 \times \cos\left[\xi + \arcsin\left(\frac{\Delta\varphi \times \lambda}{2\pi \times}\right)\right] \quad (2.6)$$

InSAR'da 3 boyutlu görüntüler, dalga boylarına bağlı olarak faz farklarını algılaya bildiğimiz görüntülerdir. Radar Interferometri sonucunda üretilen 3 boyutlu ürünlere ise Interferogram (fringe map) adı verilmektedir (Şekil 2.20).



**Şekil 2.20** Interferogram (Fringe map) (Sefercik 2006).

InSAR tekniğinde gerekli olan SAR görüntüleri farklı zamanlarda veya eş zamanlı olarak elde edilebilir. InSAR, görüntülerin elde edilme yöntemlerine göre ikiye ayrılır.

- Tek geçişli InSAR
- Çift (tekrar) geçişli InSAR

Tek geçişli InSAR’da antenler aynı bölgeye farklı bakış açılarından eş zamanlı bakış ile veri toplamaktadır. Bu yöntemde eş zamanlı işlem yapılmasından dolayı atmosferik etkiler sabit ve etkisizdir.

Çift geçişli InSAR tekniğinde ise taşıyıcı platform çalışma yapılacak alandan iki farklı zamanda geçerek veri elde etme yöntemidir. Yöntemin en büyük dezavantajı, farklı zamanlarda algılama yapmasından kaynaklanan bölgedeki mevsimsel ve atmosferik değişimlerdir.

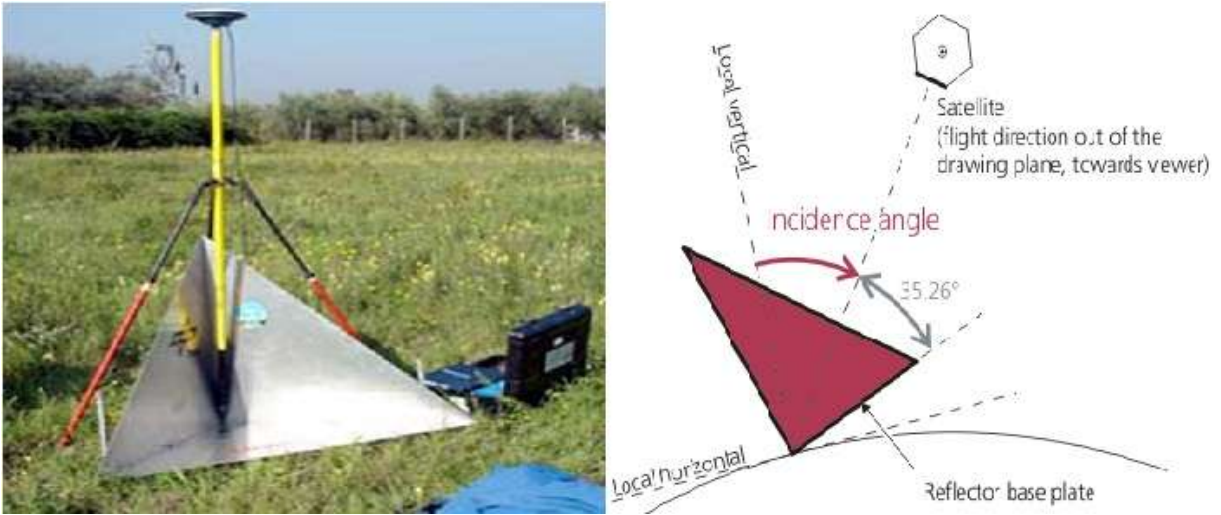
### **Radargrametri Ve Interferometri**

Günümüzde Yapay Açıklıklı Radar (SAR) görüntüleri üzerinden Dijital Yükseklik Modeli (DYM) oluşturmada iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler Radargrametri ve Interferometri yöntemleridir. Radargrametri yöntemine, optik stereoskopi mantığı ile 3B veri üretmesinden dolayı Stereo SAR yöntemi adı da verilmektedir. Radargrametri pasif algılama yapan fotogrametri yöntemi ile benzer bir yöntem olmasına karşın SAR görüntüleri üzerinden işlem yaptığından aktif bir sistemdir. SAR sisteminde Amplitude ve Faz olmak üzere iki ana görüntü vardır. Radargrametri Amplitude (şiddet) görüntüsü üzerinden işlem yapmaktadır (Şekil 2.21).



**Şekil 2.21** Amplitude (şiddet) görüntüsü.

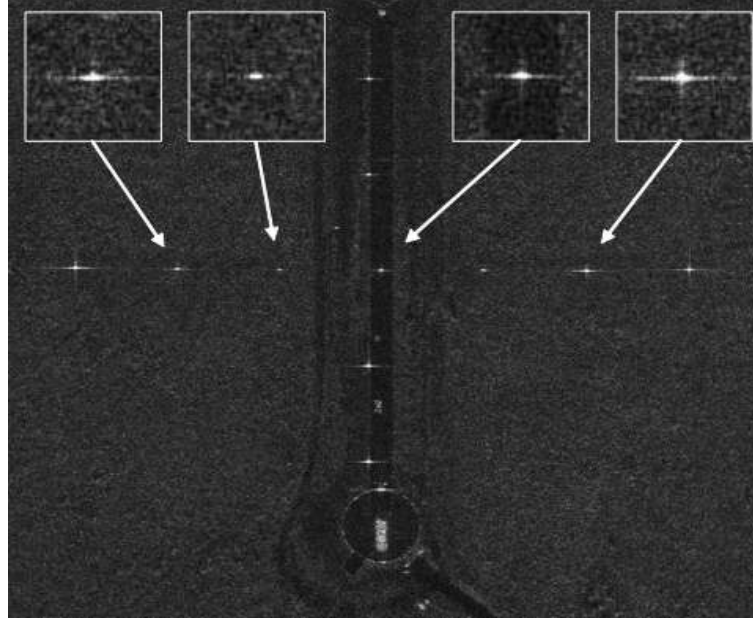
Stereo SAR yönteminde, optik sistemlerdeki Yer Kontrol Noktaları (YKN) işlevinde köşe yansıtıcıları (corner reflector) bulunmaktadır. Köşe yansıtıcılarına ait geometri Şekil 2.22’de verilmiştir.



**Şekil 2.22** Köşeyansıtıcısı ve geometrisi.

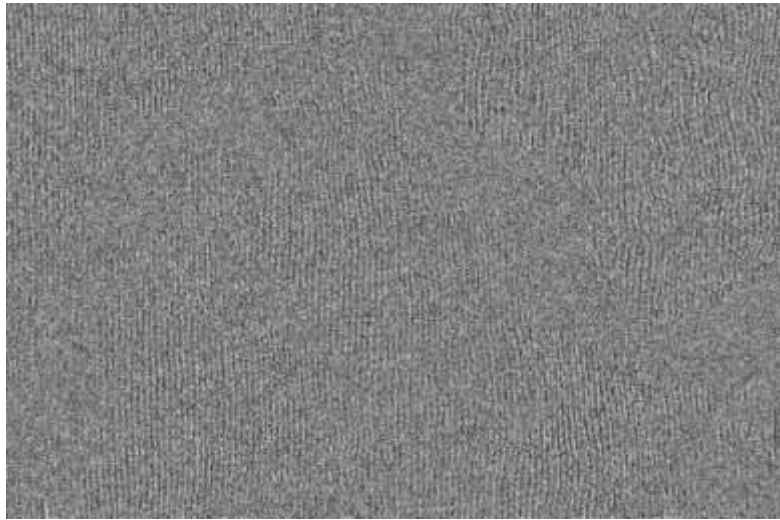
Köşe yansıtıcıları arazide uygun yerlere yerleştirildikten sonra yersel ölçme teknikleri ile ölçümü gerçekleştirilir. Yeryüzünde konumu belirlenen köşe yansıtıcıları görüntü üzerinde

çok belirgin (parlak) bir şekilde görülmektedir (Şekil 2.23). Radargrametride geometrik düzeltmeler bu köşe yansıtıcıları üzerinden gerçekleştirilmektedir.



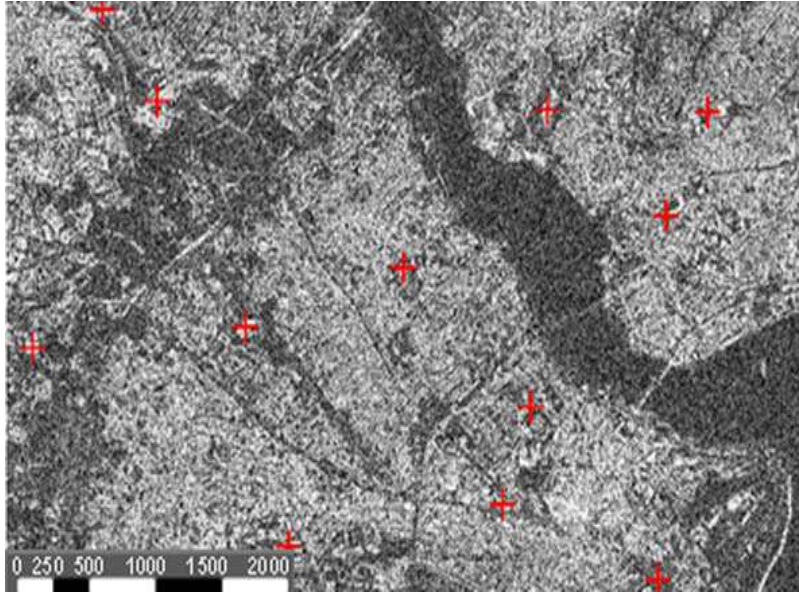
**Şekil 2.23** Köşe yansıtıcılarının görüntü üzerindeki görünümü.

İnterferometri yöntemi ise, detaylı bir şekilde incelemiş olduğumuz İnsar tekniğidir. Radargrametri yönteminden farklı olarak Faz görüntüsü üzerinden işlem yapmaktadır (Şekil 2.24). Radar İnterferometri yöntemi, radar görüntülerine özgü bir teknik olduğundan Radargrametriye göre daha hassastır.



**Şekil 2.24** Faz görüntüsü.

Interferometri tekniğinde köşe yansıtıcıları bulunmamaktadır. Yer kontrol noktaları master ve slave SAR görüntüleri tarafından tasvir edilen hedef objelerin ne kadar uyumlu olduğunu 0-1 aralığında gösteren Coherence (uyum) haritası üzerinden seçilir (Şekil 2.25). Bu işlem bilgisayar üzerinden, ofis ortamında gerçekleştirilir ve geometrik düzeltmeler bu noktalar üzerinden yapılır. Uyum haritalarında, “0” master ve slave SAR görüntüleri arasında incelenen obje üzerinde hiçbir uyum olmadığını, “1” değeri ise objenin tamamen aynı şekilde iki görüntü üzerinde de tasvir edildiğini gösterir.



**Şekil 2.25** Coherence (uyum) haritası (Sefercik ve Dana 2011).



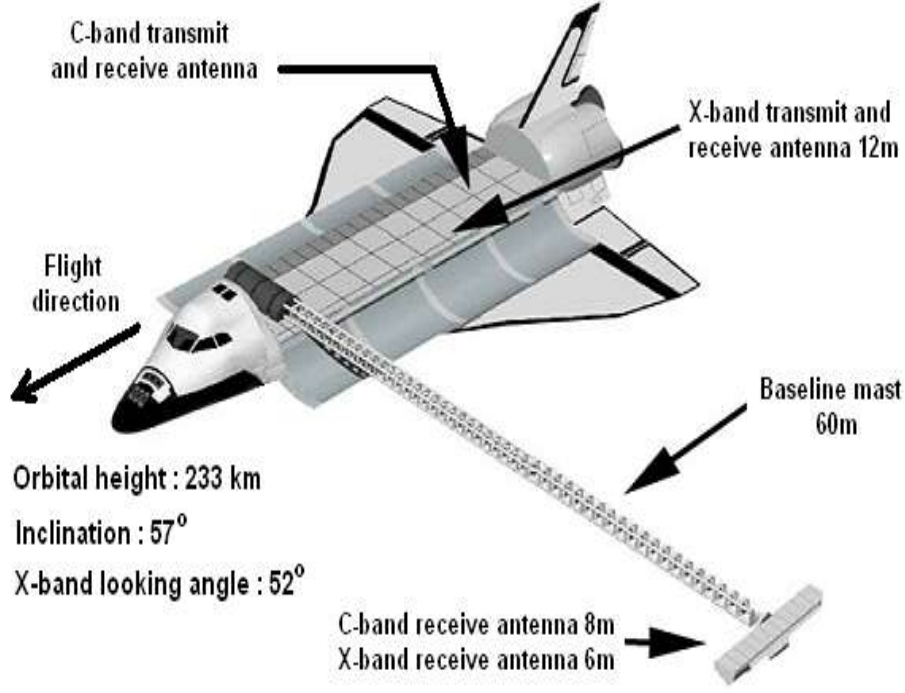
## **BÖLÜM 3**

### **2000 YILINDAN SONRA FIRLATILMIŞ RADAR UYDULARI**

#### **3.1 SRTM (SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION)**

SRTM, Amerikan Ulusal Havacılık Uzay Dairesi (NASA), Ulusal Görüntü ve Haritalama Ajansı (NIMA) ve Alman Uzay Merkezi (DLR) ile İtalyan Uzay Ajansı (ASI)'nın işbirliğinin ortak projesidir. Bu proje kapsamında 11 Şubat 2000 tarihinde Dünya'nın yüksek çözünürlüklü, Dijital Yükseklik Modeli (DYM)'ni üretmek için fırlatılmıştır. SRTM görevini 22 Şubat 2000 tarihinde başarı ile tamamlayarak dönmüştür.

Mekiğin veri toplama sistemi olarak tek geçişli interferometrik SAR tekniği kullanılmıştır. SRTM, iki farklı anten tipi taşımıştır. Ana anten, 12 metre uzunluğa, verici ve alıcıya sahip ve mekiğin kargo bölümünde konumlandırılmıştır. İkinci anten ise, 60 m uzunluğunda ve üzerinde sadece alıcı bulunan bir direğin ucuna dış anten olarak konumlandırılmıştır. Misyonda Amerikan C-bandı ve Alman / İtalyan X-bandı kullanılmıştır. Şekil 3.1'de SRTM'e ait sistem bileşenleri verilmiştir (Sefercik 2010).



Şekil 3.1 SRTM'in sistem bileşenleri.

Amerikan C-bandı, Dünya'nın 60,25 ° kuzeyi ve 56 ° güney enlemi arasındaki alanı taramıştır. Bu alan dünya üzerindeki kara parçalarının yaklaşık %80'dir. Taranan alanın % 94,6'sı en az iki kez ve yaklaşık% 50'si en az üç kez görüntülenmiştir. Amerikan C-bandı 5.6 cm'lik bir dalga boyuyla çalışmış ve Scansar modunda gerçekleştirmiştir. Buna karşın Alman / İtalyan X-bandı 3 cm dalga boyuyla çalışmıştır. Dalga boylarındaki farklılıklardan dolayı X-bandın daha çözünürlüklü olması beklenmiştir. X-bandının tarama şeridinin genişliği (45 km), C-bandın tarama genişliğinden (225 km) düşük olması X-bandın şeritleri arasında fazla boşluklar oluşmasına sebebiyet vermiştir. Tarama şeritleri arasındaki bu farklılık ve Scansar modunun olmaması X-bandın çözünürlüğünün daha iyi olmasına karşın C-bandının daha fazla tercih edilmesine neden olmuştur (Sefercik 2010).

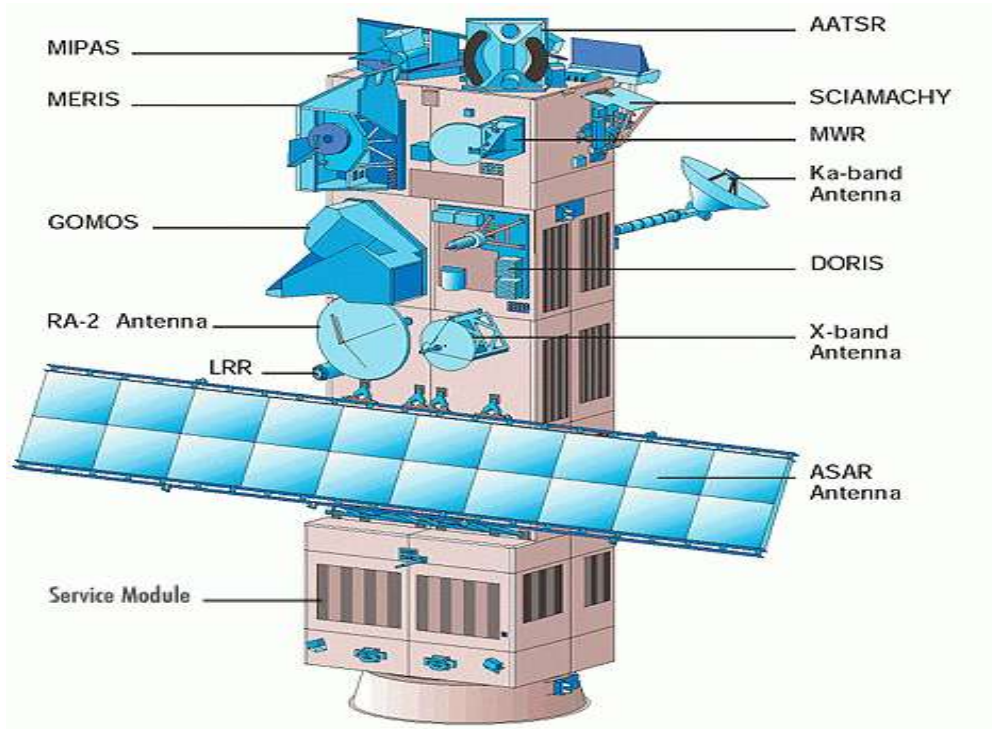
SRTM verilerinin neredeyse tüm dünyayı kapsamı, homojenliği, yükselen ve alçalan yollarda geniş örtüşme sağlaması, yaygın kullanılabilirliği ve C bandın ücretsiz olması gibi birçok avantajı vardır. Bu nedenle veriler, bilim topluluğu, ticari sağlayıcılar ve operasyonel kullanıcılar tarafından yapılan birçok uygulamada kullanılmaktadır (Sefercik 2010).



### 3.2 ENVİSAT

Envisat (Environmental Satellite) uydusu, Avrupa'nın önemli dünya gözlem uydularından biridir. Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 1 Mart 2002 tarihinde fırlatılmış ve başarılı bir şekilde yörüngesine oturtulmuştur. Envisat ileri bir gözlem uydusudur. Envisat verileri toprak, okyanus, buzul, atmosfer ölçümlerinde, jeolojik araştırmalarda, çevresel ve iklimsel değişimlerin izlenmesinde kullanılmıştır (Sefercik 2010). Envisat uydusu 8 Nisan 2012 tarihinde misyonunu tamamlamıştır.

Envisat üzerindeki ASAR algılayıcısı üç farklı moda algılama yapabilmektedir. Envisat ASAR uydusu SAR verisinin sürekliliğinde ESR uydusunun devamı niteliğinde olmuştur. ASAR algılayıcısı gönderdiği ve geri aldığı enerjinin polarizasyonunu ayırt etme yeteneğine sahip olan bir algılama sistemine göre tasarlanmıştır. Envisat uydusunun yapısı Şekil 3.2'de açıklanmıştır.



Şekil 3.2 Envisat uydusunun yapısı (URL16).

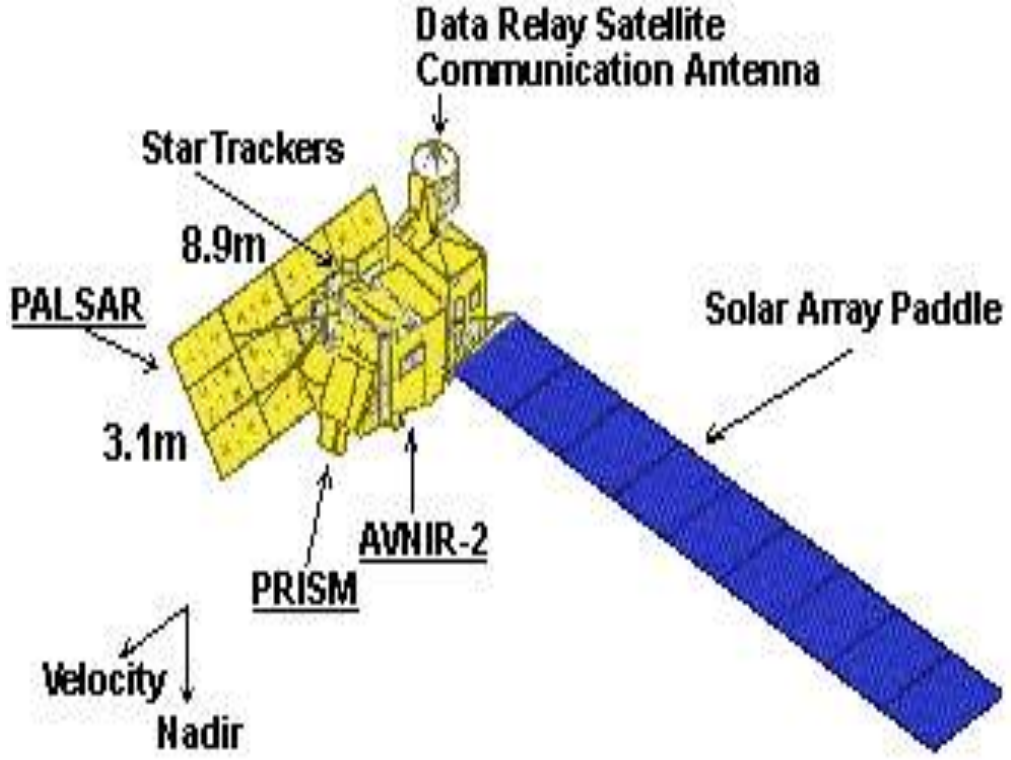
Envisat uydusu üzerindeki ASAR algılayıcısına ait teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1** Envisat ASAR uydusunun teknik özellikleri.

Envisat ASAR	
Ağırlık	≈ 8200kg
Fırlatma Yeri Ve Aracı	French Guiana, Ariane-5
Tahmini Ömrü	5 Yıl
Uçuş Yüksekliği Ve Yörünge Tipi	800 km, Güneş eş merkezli, kutupsal
Zamansal Çözünürlük	35 Gün
Görüntüleme Tipi	Imaging mode, Variable polarization mode, Wide swath area
Mekansal Çözünürlük	Imaging mode=30 m, Variable polarization mode=30 m, Wide swath area=150 m
Kullanılan Band Tipi	C band
Tarama Genişliği	Imaging mode=100 m, Variable polarization mode=100 m, Wide swath area=400 m

### 3.3 ALOS PALSAR

Gelişmiş Kara Gözleme Uydu Sistemi (ALOS), 24 Ocak 2006 tarihinde Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından Tanegashima Uzay Merkezi’nden fırlatılmıştır. ALOS uydusu üzerinde 3 adet farklı algılama sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerden ilki Dijital Yükseklik modeli oluşturmada kullanılan PRISM (Panchromatic Remote Sensing Instrument For Stereo Mapping) sistemidir. İkincisi ise hassas kara gözlemlerine olanak sağlayan AVNIR-II (Advanced Visible And Near Infrared Radiometer- Type Two) algılama sistemidir. ALOS uydusu üzerinde bulunan son sistem ise PALSAR’dır. PALSAR (Phased Array Type L-Band Synthetic Aperture Radar), düzenli faz serisi ve L tipi band kullanan Yapak Açıklıklı Radar sistemidir. ALOS PALSAR uydusuna ait sistem bileşenleri Şekil 3.3’de sunulmuştur.



Şekil 3.3 ALOS PALSAR uydu sisteminin bileşenleri (URL17).

ALOS PALSAR uydusuna ait özellikler Çizelge 3.2 de verilmiştir.

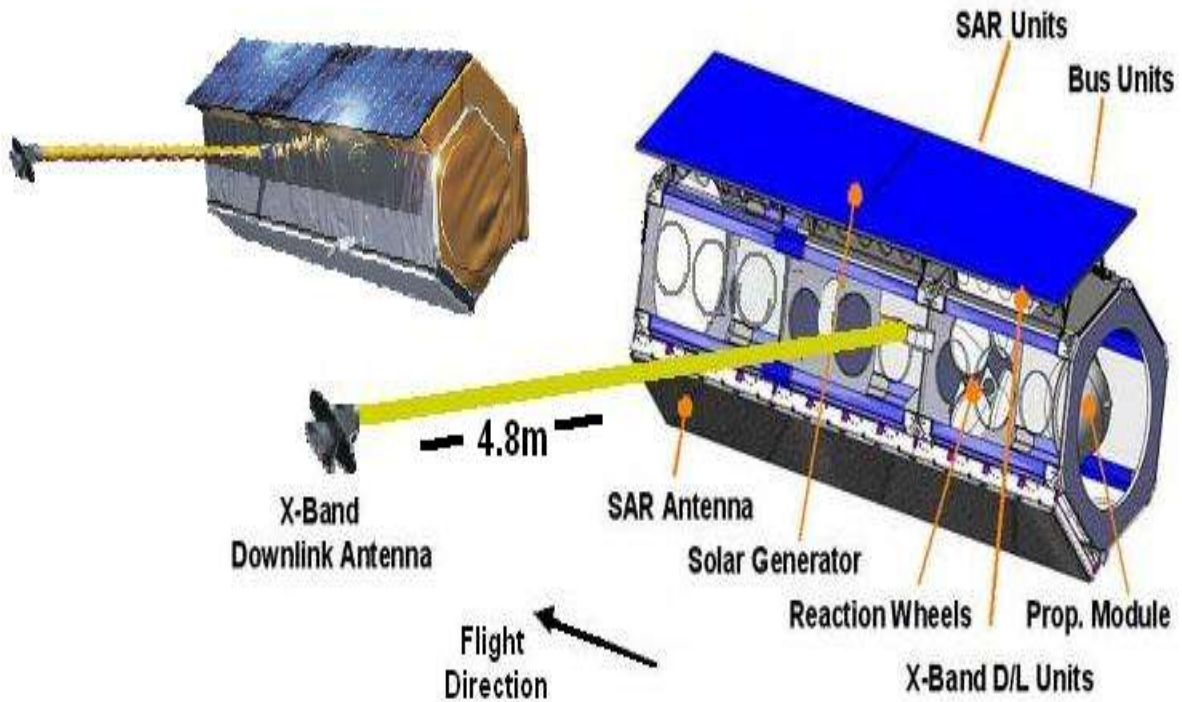
Çizelge 3.2 ALOS PALSAR uydusunun özellikleri.

ALOS PALSAR	
Ağırlık	≈ 4000 kg
Fırlatma Yeri Ve Aracı	Tanegashima Uzay Merkezi, H-IIA Roket
Tahmini Ömrü	3-5 Yıl
Uçuş Yüksekliği Ve Yörünge Tipi	691.65km, Güneş eş zamanlı, Dairesel
Zamansal Çözünürlük	46 Gün
Görüntüleme Tipi	Fine mode, Scansar
Mekansal Çözünürlük	Fine mod=10 m, Scansar=100 m
Kullanılan Band Tipi	L band
Tarama Genişliği	Fine mode=70 km, Scansar=350 km

### 3.4 TERRASAR-X (TSX)

TerraSAR-X uydusu, 15 Haziran 2007 yılında Rusya devletine ait olan Kazakistan'daki Baykonur üssünden fırlatılmıştır. Uydu Almanya tarafından yapılmış ve kullanıma sunulmuştur.

TerraSAR-X uydusu, bir kamu özel ortaklığıdır. Bu ortaklık; Almanya Eğitim ve Araştırma Bakanlığına(BMBF) bağlı Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (DLR) ve Astrium GmbH arasında gerçekleşmiştir. DLR uydunun takibi, teknik özelliklerinin kontrolünden ve bilimsel amaçlı olarak kullanımından sorumludur. DLR kontratı altında Astrium GmbH, uydunun inşa edilip geliştirilmesinde ve ticari olarak kullanımında söz sahibi olmuştur. TerraSAR-X bilimsel amaçlı çalışmalarda yüksek çözünürlükte ve çok modlu X band SAR verisi sunmaktadır. TerraSAR-X uydu sisteminin bileşenleri Şekil 3.4 'de verilmiştir.



Şekil 3.4 TerraSAR-X uydu sisteminin bileşenleri (URL18).

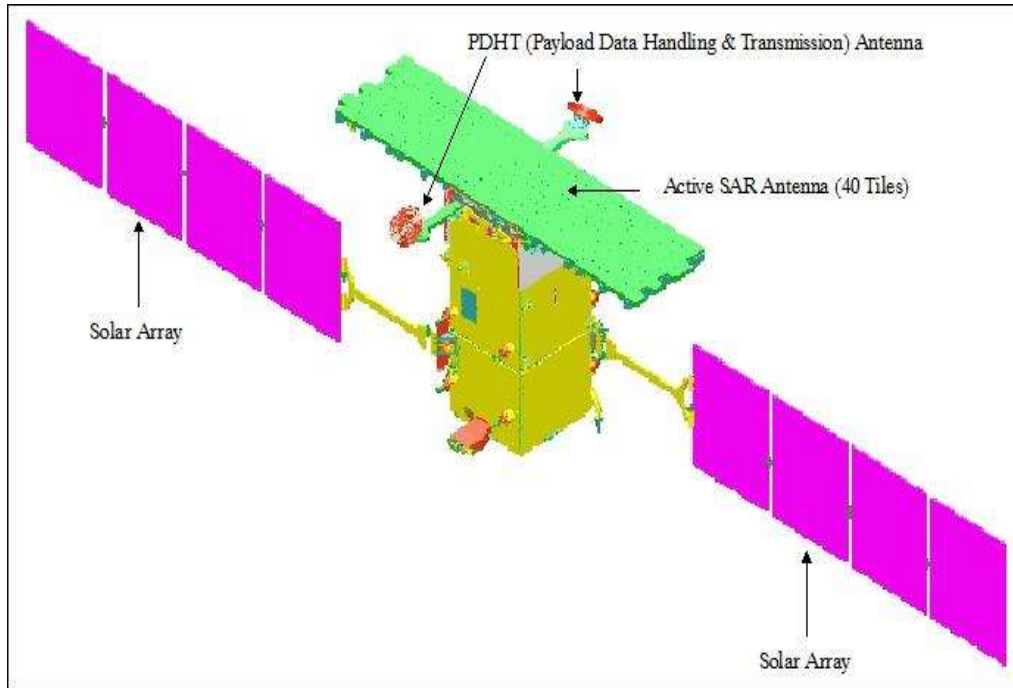
TerraSAR-X uydusuna ait teknik özellikler Çizelge 3.3' de verilmiştir.

**Çizelge 3.3** TerraSAR-X uydusunun teknik özellikleri (URL18).

TerraSAR-X	
Ağırlık	≈ 1230 kg
Fırlatma Yeri Ve Aracı	Baikonur (Kazakistan), 109/95 DNEPR
Tahmini Ömrü	5 Yıl
Uçuş Yüksekliği Ve Yörünge Tipi	514 km, Güneş eş zamanlı, Dairesel
Zamansal Çözünürlük	11 Gün
Görüntüleme Tipi	Spotlight, Stripmap, Scansar
Mekansal Çözünürlük	Spotlight=1 m, Stripmap=3 m, Scansar=16 m
Kullanılan Band Tipi	X band
Tarama Genişliği	Spotlight=10 m, Stripmap=30 m, Scansar=100 m

### 3.5 COSMO-SKYMED

Cosmo-SkyMed dört ayrı radar uydusundan oluşan bir sistemdir. İtalya Uzay Ajansı (ASI) ve İtalya Savunma Bakanlığı (MoD) tarafından Akdeniz havzasını gözlemlemek için inşa edilmiştir. Dört uydudan ilki 18 Haziran 2007 tarihinde ABD'nin California eyaletinde fırlatılmıştır. İlk uydu fırlatıldıktan sonra sırasıyla; ikincisi 9 Aralık 2007, üçüncüsü 25 Ekim 2008 ve sonuncusu 6 Kasım 2010 tarihlerinde fırlatılmıştır. Cosmo-SkyMed uydularına ait sistem bileşenleri Şekil 3.5'de verilmiştir.



**Şekil 3.5** Cosmo-SkyMed uydusunun sistem bileşenleri (URL19).

Cosmo-SkyMed uydusunun askeri ve sivil olarak kullanılması amaçlanmıştır. Bölgesel savunma ve güvenlik uygulamalarında kullanılmasının yanında; sel, kuraklık, orman yangınları gibi risk yönetimi uygulamalarında da kullanılmıştır. Sistemin en büyük avantajı uygulamalar gerçekleştirilirken verinin hem hızlı alınması hem de hızlı güncellenmesine imkan vermesidir.

Cosmo-SkyMed uydusuna ait teknik bilgiler Çizelge 3.4’de verilmiştir.

**Çizelge 3.4** Cosmo-SkyMed uydusuna ait teknik özellikler.

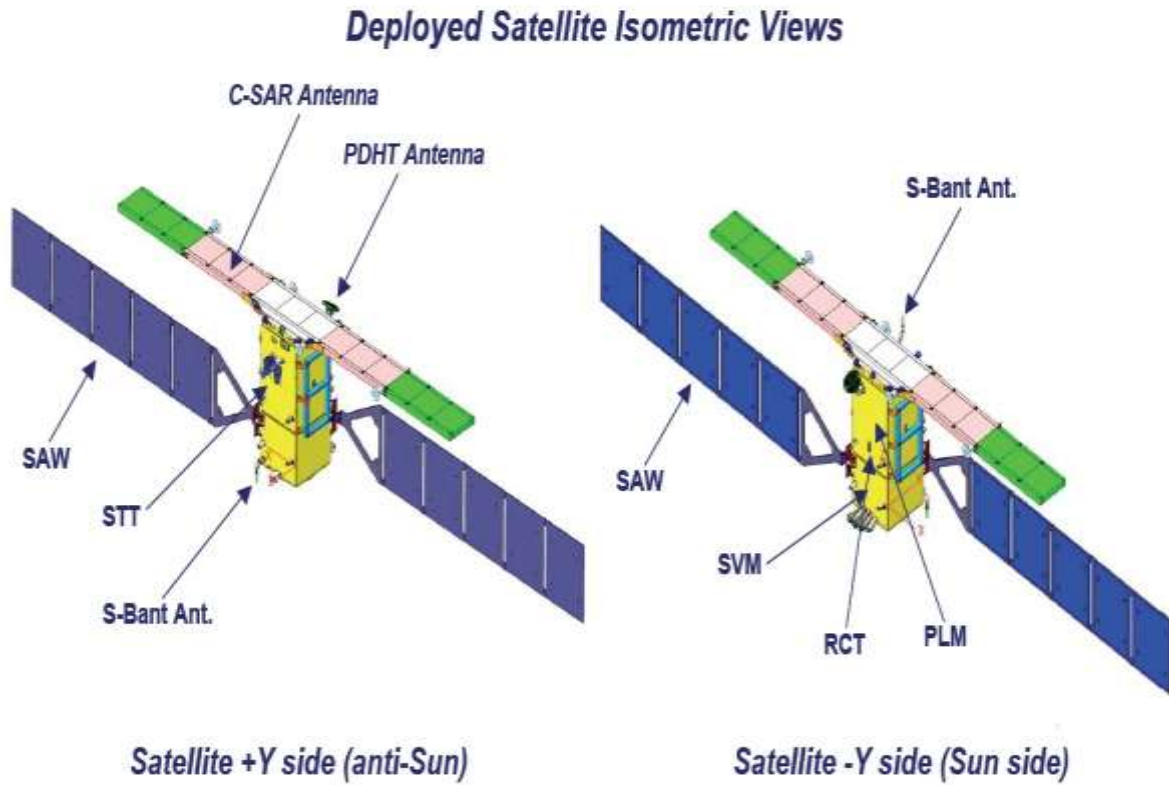
Cosmo-SkyMed 1,2,3,4	
Ağırlık	≈ 1700 kg
Fırlatma Yeri Ve Aracı	Vandenberg Hava Kuvvetleri Üssü (California), Delta II
Tahmini Ömrü	5 Yıl
Uçuş Yüksekliği Ve Yörünge Tipi	619 km, Güneş eş zamanlı, Dairesel
Zamansal Çözünürlük	16 Gün
Görüntüleme Tipi	Spotlight, Stripmap Himage, StripmapPingpong, Scansar Wide, Scansar Huge
Mekansal Çözünürlük	Spotlight :1 m StripmapHimage : 5 m StripmapPingpong: 20m Scansar Wide : 30 m Scansar Huge : 100 m
Kullanılan Band Tipi	X band
Tarama Genişliği	Spotlight : 10 km StripmapHimage : 40 km StripmapPingpong: 30 km Scansar Wide : 100 km Scansar Huge : 200 km

### 3.6 SENTİNEL-1A

Sentinel, Türkçesi gözcü olan ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından GMES (Global Monitoring for Environment and Security) olarak bilinen Copernicus Dünya Gözlem Programı çerçevesinde geliştirilen bir programdır. Sentinel programı kapsamında her biri 2 uydu içeren 7 farklı optik ve radar uydularının fırlatılması planlanmıştır. Sentinel programı içerisindeki Sentinel 1A ve Sentinel 1B radar (SAR) uydularıdır. Sentinel-1A uydusu 3 Nisan 2014 tarihinde, Sentinel-1B ise 25 Nisan 2016 tarihinde fırlatılmıştır (URL 20).

Bu çalışmada kullanılan ve French Guina bölgesinden fırlatılan Sentinel-1A uydusu, daha önce ESA tarafından fırlatılan ERS ve Envisat uydularının devamı niteliğindedir. Özellikle bu uydularda bulunan SAR –C band verisinin sürekliliğini sağlamak ve veri boşluklarını doldurması amaçlanmıştır.

Sentinel-1A uydusunun sağladığı en büyük avantaj ortalama 250 km’lik geniş alanlarda mosaik (burst) görüntüleme geometrisi kullanarak interferometriye uygun veri sağlayabilmesidir. Okyanus ve buzul kütle takibi, deniz çevresi ve kıyı bölgelerinin takibi, afet durumlarında acil haritalama, tarım, orman ve topoğrafik haritalama gibi görevlerde bulunması planlanmıştır. Sentinel-1A uydusunun sistem bileşenleri Şekil 3.6’da sunulmuştur.



**Şekil 3.6** Sentinel-1A uydusunun sistem bileşenleri.

Sentinel-1A uydusuna ait teknik özellikler Çizelge 3.5’de verilmiştir.

**Çizelge 3.5** Sentinel-1A uydusunun teknik özellikleri (URL 21).

Sentinel-1A	
Ağırlık	≈ 1157 kg
Fırlatma Yeri Ve Aracı	French Guiana, Soyuz roketi
Tahmini Ömrü	7.25 Yıl
Uçuş Yüksekliği Ve Yörünge Tipi	693 km, Güneş Senkronize, Yakın-kutupsal,Dairesel
Zamansal Çözünürlük	12Gün
Görüntüleme Tipi	Stripmap, Interferometric Wide Swath, Extra-Wide Swath, Wave
Mekansal Çözünürlük	Stripmap= 5 m, Interferometric Wide Swath= 20 m Extra-Wide Swath= 100 m,Wave= 20 m
Kullanılan Band Tipi	C band
Tarama Genişliği	Stripmap= 80 m, Interferometric Wide Swath= 250 m Extra-Wide Swath=400 m, Wave= 20 m

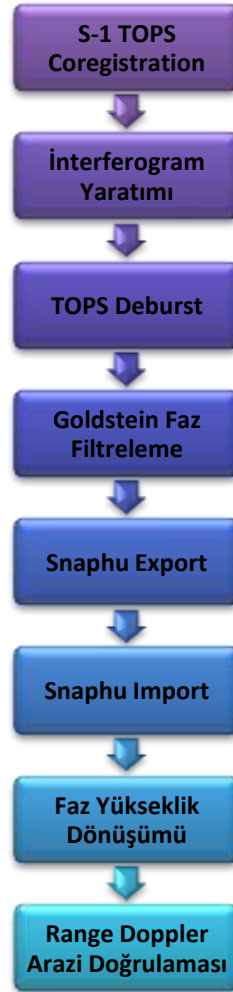


## BÖLÜM 4

### METODOLOJİ

#### 4.1 SENTİNEL-1A GÖRÜNTÜLERİNDEN DYM ÜRETİMİ

Sentinel-1A görüntülerinden dijital yüzey modeli üretiminde Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından geliştirilmiş özel paket program SNAP'te uygulanan interferometrik işlem adımları Şekil 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1 SNAP programında uygulanan interferometrik işlem adımları.

İnterferometrik geniş tarama (IW) görüntüleme modu tek bir bakışta 250 km'lik tarama uzunluğunda veri elde etmektedir. IW modu,yapay açıklıklı radar ile kademeli bölge tarama tekniğini (TOPSAR) kullanarak üç alt tarama elde eder. TOPSAR tekniği ScanSAR'da olduğu gibi menzilde ışın yönlendirmeyi içerir. Elektronik olarak yönlendirilen bu ışın azimut doğrultusunda geriden ileriye doğru aydınlanma sağlamaktadır. TOPSAR modu, ScanSAR'da olduğu gibi benzer menzil ve çözünürlük yeteneklerine ve yaklaşık olarak aynı sinyal-gürültü oranı (SNR) ile dağıtılmış, hedef belirsizlik oranına (DTAR) sahip olduğundan, konvansiyel ScanSAR modundan meydana gelmektedir.

Çalışmada kullanılan iki S-1A IW SLC (single look complex) ürünü Balkan ülkelerini içermektedir. SNAP Sentinel-1 Toolbox ile Trakya ve İstanbul bölgeleri işlenmiştir. İnterferometrik verilerin işlenebilmesi için iki veya daha fazla görüntü birlikte kaydedilmelidir. Bu görüntülerden biri master diğerleri ise slave olarak seçilmiştir. TOPS InSAR için, S-1 TOPS'ları birlikte kaydedilmiş olmalıdırlar. Aşağıda görüntülerin kayıt işlemi ve SNAP programında uygulanan interferometrik işlem adımları anlatılacaktır.

- **S-1 TOPS Co-registration**

TOPS Co-registration iki ürün ortaya çıkarır ve TOPSAR-Split sayesinde üç taramadan tek bir alt taramayı seçer. Seçilen alt tarama, 6-9 burstlarını (alt çerçeve) içeren interferometrik geniş tarama no:1 olur. Yörünge dosyası (sentinel hassas yörünge verileri), SAR veri edinimi esnasındaki uydunun konumu hakkında bilgi içermektedir. Hassas Yörünge Saptama (POD) servisi, iade (restituted) yörünge dosyalarını ve hassas yörünge efemeris (POE) dosyasını sağlamaktadır. POE dosyaları, yaklaşık 28 saati kapsar ve 10 saniye aralıklarla sabit zaman adımlarında, yörünge durum vektörlerini içerir. POE dosyaları, günlük bir dosya üretiminden oluşur ve veriden sonra 20 gün içerisinde teslim edilir. Sentinel-1 için yörünge dosyaları seçilir ve Toolbox aracılığıyla otomatik olarak indirilir.

Coğrafi kodlamayla DYM üretimi için, bilineer enterpolasyon metodu ile SRTM 3Sec kullanılır. Toolbox DYM'nin otomatik olarak indirilmesine olanak sağlar. Kullanıcı tarafından tanımlanan DYM'ler gerekli durumlarda tanımlanabilir ve kullanılabilir.

- **İnterferogram Yaratımı**

Her SAR görüntü pikselinin interferogram oluşum fazı, iki SAR'ın her birinden nitelendirilen çözünürlük hücresine olan yörünge seyahatindeki farklılığa bağlıdır (Eşitlik 4.1 ve 4.2).

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{flat} + \Delta\varphi_{elevation} + \Delta\varphi_{displacement} + \Delta\varphi_{atmosphere} + \Delta\varphi_{noise} \quad (4.1)$$

$$\Delta\varphi_{flat} = -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_n S}{R \tan \theta} \Delta\varphi_{elevation} = -\frac{\Delta q}{\sin \theta} \frac{4\pi B_n}{\lambda R} \Delta\varphi_{displacement} = \frac{4\pi}{\lambda} d \quad (4.2)$$

Referans yüzeyinin eğriliğinden dolayı sinyalde bulunan düz-yer faz interferogramı oluşum adımını kaldırır. Bu kestirim, yörüngesel ve metaveri bilgisini içerir ve karmaşık interferogramdan çıkartılır.

- **TOPS Deburst**

Her bir alt tarama görüntüsü, her bir burstun ayrı bir SLC görüntüsü olarak işlendiği azimut zaman sırasındaki bir dizi bursttan oluşur.

İnterferometrik geniş tarama için odaklanan burst 2,75 saniyelik bir süreye sahiptir. Bir IW SLC ürününün tüm alt taramalarındaki burst görüntüleri, mesafe ve azimuttaki ortak bir piksel grid aralığında yeniden örneklenmiştir.

Mesafe yönünde, tüm alt taramalardaki her bir hat için aynı zaman tagı ile yan alt taramalar birleşir. Mesafe yönünde, aynı zaman etiketine sahip tüm alt taramalardaki her bir satır için, komşu alt taramalar birleştirilir. Mesafede örtüşen bölge için, birleştirme alt taramaların ortasından yapılır.

Azimut yönünde burstlar sıfır Doppler zamanına göre birleştirilir. Yeniden örnekleme nedeniyle, veriler zayıflar ve sıfırlanır. Birleşme zamanı, ilk burstun son hattının ortalaması ile bir sonraki burstun ilk hattının ortalaması tarafından belirlenir. Her bir hücre mesafesi için,

birleştirme zamanı verilerin sıfırlanmasını gidermek amacıyla en yakın azimut hücre çıktısına nicelendirilir.

- **Golstein Faz Filtreleme**

İki boyutlu Goldman filtresi, (4.3) ve (4.4) eşitlikleri ile uygulanır.

$$H(u, v) = |Z(u, v)|^\alpha \quad (4.3)$$

$$Z(u, v) = \exp \left\{ -\frac{\frac{u^2}{\sigma_u^2} - \frac{2uv}{\sigma_u \sigma_v} + \frac{v^2}{\sigma_v^2}}{2(1 - \rho^2)} \right\} \quad (4.4)$$

$\alpha$ : uyarlanan filtre parametresi

$u, v$ : frekans değişkenleri

$\sigma_{u,v}^2$ : etkin bant genişlikleri

$\rho$ : eğik mesafe

Filtrelemeden sonra bant genişlikleri  $(1 + \alpha)^{-1}$ bağıntısı ile indirgenilir.  $\alpha = 1$  olması durumunda bant genişlikleri yarıya inerken SLR ise yaklaşık olarak karesine eşit olur.

- **Snaphu Export ve Import**

Topografik aplikasyon için, Statistical-cost mod bölümü, TOPO ve başlangıç (initial) modu Minimum Cost Flow olarak seçilmelidir. Snaphu yazılımı Stanford Üniversitesi'nde ücretsiz olarak elde edilebilir ve Linux tabanlı işletim sistemi altında veya Cywin gibi Windows işletim sisteminde 3. parti Linux derleyicisi ile çalışabilir. Terminal arayüzü, Snaphu'nun orijinal sitesinde belirtilen kodlarla çalışmaktadır.

İşlem Snaphu import bölümü ile birlikte başarıyla tamamlandıktan sonra Sentinel-1 Toolbox'a, çözülmüş fazı görüntüleme ve işleme imkanı verilir.

- **Faz Yükseklik Dönüşümü**

Bu operatör, referans yükseklik hesaplamasında Dijital Yükseklik Modelini kullanarak, interferometrik çözülmüş fazı, radar kodlu sistemdeki yüksekliklere dönüştürür.

- **Range Doppler Arazi Doğrulaması**

Range Doppler Arazi Doğrulama operatörü iki boyutlu raster radar geometrisinden SAR görüntülerini coğrafi olarak kodlamak amacıyla Range Doppler ortorektifikasyon metodunu uygular. Bu operatör meta verideki veya harici hassas yörüngedeki mevcut yörünge durum bilgisini, radar zamanlamasının ek açıklamalarını, referans DYM bilgisi ile beraber yer mesafe dönüşüm parametrelerine olan eğikliği hassas konum belirleme bilgisini elde etmek için kullanır.

## **4.2 DYM DEĞERLENDİRMESİ**

Uzaktan algılama verilerinden üretilmiş 3B modellerin kalite kontrolü için, nokta ve model bazlı yöntemler bulunmaktadır. Nokta bazlı yaklaşımlar, bir modelin kalitesini, yeryüzünde ölçülen veya mevcut yüksek çözünürlüklü haritalar üzerinden seçilen YKN'leri kullanarak belirlemektedir. Geniş alan kapsayan yoğun uzaktan algılama verilerinde noktaya dayalı yaklaşımların genellikle sınırlı sayıda YKN kullanması nedeniyle sonuçları yanıltıcı olmaktadır. Kalite, farklı arazi sınıfları ve değişen arazi eğimi için tam doğru şekilde değerlendirilmelidir. Ayrıca, nokta bazlı yöntemler kullanılan enterpolasyon yönteminin model doğruluğu üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi güçleştirmektedir. Bu nedenle, kalite değerlendirmesini gerçekleştirirken hassas bir referans model ile model bazlı karşılaştırma yapmak daha etkin ve her pikselin dahil ile gerçekleşen bir yöntem olacaktır. Bir modeli, referans olarak kullanmak için modelin aşağıdaki koşulları eksiksiz sağlıyor olması gerekir;

- Daha yüksek doğruluklu bir yöntem ile üretilmiş olmalıdır.
- Çalışma alanının tümünü boşluksuz ve distorsiyonsuz (arızasız) şekilde kapsamalıdır.

- Orjinal yani yeniden örnekleme-siz grid aralığı, test edilecek modelden küçük veya eşit olmalıdır.

Bu çalışmada, S-1A15m orjinal gridli DYM'sinin analizi için yukarıda belirtilen şartları taşıyan İstanbul ili hava kaynaklı lazer tarama verisinden 5m orjinal gridli elde edilen model referans olarak kullanılmıştır.

Kalite değerlendirmesi için temel ölçüt olarak mutlak ve rölatif düşey doğruluklar kullanılmıştır. Ancak, bu düşey doğruluk değerlerinin doğru bir şekilde hesaplanması için bazı ön işlem adımları uygulanmalıdır. İlk olarak, düşey datum jeoit ya da elipsoid olarak sabitlenmeli ve gerekirse jeoit ondülasyonu hesaplanmalıdır. İkinci olarak, test ve referans modellerin koordinat sistemleri eşitlenmelidir. Koordinatların eşitlenmesinin ardından halen devam eden düşük miktardaki ve genelde sistematik yatay konum farklılıkları yatay öteleme işlemi ile elemine edilmelidir. Harita verilerinde, genellikle kalibrasyonsuz ölçüm aletleri (lazer tarayıcılar, GPS, IMU vb.) ya da ulusal datum kullanımı esaslı düşük miktarda yatay konum hataları oldukça sık rastlanabilen durumlardır. Çalışmada, düşük miktarda yatay hatalar, referans ve test edilen model arasında alan bazlı çapraz korelasyon yöntemi ile giderilmiş ve %100 yatay örtüşme sağlanmıştır (Baltsaviaset al. 2008; Alobeid, Jacobsen, and Heipke 2010).

Çalışmada ortak koordinat sistemi ve datum, Universal Transverse Mercator (UTM) 35 ve World Geodetic System 1984 (WGS84) olarak belirlenmiştir. Baz yükseklik sistemi olarak ortometrik yükseklik tercih edilmiştir. Yatay ötelemeler, alansal eşleşmeye bağlı çapraz korelasyon yöntemi kullanılarak giderilmiştir.

Bir DYM'nin düşey doğruluğu birçok farklı ölçüt kullanılarak tanımlanabilir. Uygulamalarda, test edilen model ve referans model arasındaki yükseklik farklarının karesel ortalama hatası (KOH) (Eşitlik 4.5) veya standart sapması (SZ) (Eşitlik 4.7) doğruluklar kriteri olarak kullanılır. Çalışmada, % 68 olasılık derecesine sahip olan SZ ana değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır.

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2}{n}} \quad (4.5)$$

Eşitlikde  $n$  piksel sayısını (karşılaştırılan nokta sayısı) ifade etmektedir. Yükseklik farklarının karelerinin aritmetik ortalaması şu şekilde verilirse:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i}{n} \quad (4.6)$$

Yükseklik farklarının karelerinin toplamının standart sapması;

$$SZ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \mu)^2}{n - 1}} \quad (4.7)$$

eşitliğine karşılık gelir. Eşitlik (4.7) varyansın karekökü olduğu için eşitliğin karesini aldığımızda sonuç olarak  $SZ$  ve  $KOH$  arasındaki ilişki, eşitlik (4.8) gibi olur.

$$SZ^2 = KOH^2 - \mu^2 \quad (4.8)$$

Yükseklik farklarının karelerinin toplamının standart sapmasına eşit olan mutlak düşey doğruluk, arazi eğimi ile ilişkili olmakla birlikte genellikle arazi eğiminin bir fonksiyonu olarak verilir. Mutlak düşey doğruluk ve arazi eğimi arasındaki bağıntı eşitlik (4.9)'da verilmiştir. Eşitlikte  $b$ , arazi eğiminin çarpım faktörü,  $\alpha$  ise arazi eğimidir. Mutlak düşey doğruluk analizlerinde nihai sonucun elde edilebilmesi için iki adımlı bir işlem gerçekleştirilmiştir. İlk adımda, test ve referans DYM'ler arasındaki sistematik hatalar düşey öteleme ve ölçek farklılıkları hesaplanarak belirlenmiştir (Huising and Gomes Pereira 1998; Crombaghs, Bruegelmann, and De Min 2000; Wang et al. 2008). İkinci adımda, mutlak düşey doğruluklar sistematik hatalar elemine edilerek hesaplanmıştır.

$$\text{Mutlak Düşey Doğruluk} = SZ + b \tan \alpha \quad (4.9)$$

Normallendirilmiş Medyan Mutlak Sapma (NMAD) SZ'e ek olarak, ikinci mutlak doğruluk ölçütü olarak kullanılmıştır. NMAD, nicel verinin tek değişkenli bir örneğinin değişkenliğinin sağlam bir ölçütü olan Medyan Mutlak Sapmanın (MAD) türevidir. NMAD ve MAD, (4.10) ve (4.11) eşitlikleri kullanılarak elde edilmektedir.  $\tilde{x}_j$ , yükseklik farklarının tek değişkenli veri kümesinin medyanıdır.  $\tilde{x}_i$  ise,  $\tilde{x}_j$  den gelen yükseklik farklarının medyanıdır.

$$MAD = \tilde{x}_i [|\Delta Z_i - \tilde{x}_j(\Delta Z_j)|] \quad (4.10)$$

$$NMAD = 1.4815 \times (MAD) \quad (4.11)$$

Test edilen model ve referans model arasında yükseklik farkları normal dağılım göstermesi durumunda, NMAD, MAD'ın 1.48 çarpım faktörü ile %68 olasılık seviyesine sahiptir (SZ ile aynıdır). NMAD'ın SZ' den büyük olduğu bir durum, yükseklik farklarının anormal dağılım gerçekleştirdiklerinin göstergesidir. NMAD, sağlam bir kestirim yapabilmesine rağmen, büyük bir veri kümesindeki küçük aykırı değerlerin saptanması konusunda standart sapma kadar hassas değildir (Hellerstein, 2008). DYM'lerin kalite değerlendirmesi, farklı arazi sınıflarını (açık alan, çim, bina ve yüksek bitki örtüsü) içeren altı araştırma alanı için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Mutlak düşey doğruluk hesaplamaları yapılırken, çok az sayıdaki kaba hatalar yanıltıcı sonuçları önlemek amacıyla elemine edilmiştir. Bu doğrultuda, test ve referans modelleri arasındaki yükseklik farklarında maksimum fark eşiği belirlenmiştir. Eşik değer, yapılan değerlendirmeler dikkate alınarak 50m olarak belirlenmiştir.

Mutlak düşey doğruluk analizleri sonunda, sapmaları görselleştirmek amacıyla hem S-1A hem de SRTM için ayrı ayrı renk kodlu fark modeller üretilmiştir (DIFFDYM) (Wheaton et al. 2010). DIFFDYM haritaları, LISA 4.7 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. DIFFDYM'leri veren bağıntı eşitlik (4.12)'de verilmiştir.

$$DIFFDYM = (DYM)_{test} - (DYM)_{referans} \quad (4.12)$$



Kalite değerlendirmesi için ikinci temel ölçüt, bir DYM'nin iç tutarlılığını yani komşu piksellerin birbirleri ile ne kadar tutarlı olduğunu gösteren rölatif düşey doğruluktur. Rölatif düşey doğruluk, mesafe grupları için ayrı ayrı olarak hesaplanır. Mevcut noktanın bir referans noktasına olan uzaklığı, her ikisi arasında olan yükseklik farkı  $dZ'$  dir ( $Z$  (referans) -  $Z$  (mesafe grubundaki karşılaştırılan nokta)). Yani, komşu noktadaki yükseklik farklılıkları karşılaştırılmıştır. Yükseklik farkları tamamen bağımsız (korelasyon = 0) ise; rölatif düşey doğruluk, SZ ile aynıdır. Korelasyon katsayısı 1.0 ise; rölatif düşey doğruluk, 0.0 olacaktır. Normalde, rölatif düşey doğruluk, 0.0 ve SZ arasındadır. Korelasyonun aşırı olumsuz olduğu durumlarda, rölatif düşey doğruluk, SZ'den daha büyük olabilir. Rölatif düşey doğruluk ile  $dZ$ 'nin korelasyonu kontrol edilmiş olur. Daha önce yayınlanmış çalışmalar, radar ve lidar gibi aktif uzaktan algılama sistemlerinin rölatif düşey doğruluklarının mutlak düşey doğruluklarından daha üstün olduğunu göstermiştir (Jacobsen 2003, 2012; ASPRS 2004).

DYM'lerin rölatif düşey doğrulukları eşitlik (4.13) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemden ki;  $D$ , mesafe grupları  $D_{min}$  ve  $D_{max}$  ise, sırasıyla alt ve üst mesafe sınırlarıdır. Bu çalışma için; mesafe grupları, 1. pikselden 10. piksele kadar uzanmaktadır. 5m piksel boyutunu dikkate alırsak, 5m-50m arasında değişir. Bunun nedeni, rölatif düşey doğrulukları hesaplamak için komşu 10 piksel kullanılmış olmasıdır.  $n_x$  terimi, mesafe grubundaki nokta kombinasyonlarının sayısı için kullanılır.  $n$  ise, referans ve gerçek değerler arasındaki fark hesaplanan nokta sayısı için kullanılır. Denklemden bulunan 2 katsayısı  $n_x$  ile çarpılarak, rölatif düşey doğrulukların SZ değerine normleştirilmesi sağlanır. Hata yayılımına karşılık gelen, mesafe grubundaki noktaların yükseklik farkları bağımsız ise, KOH SZ'dan daha büyük olarak 2.0 karekökü olacaktır. Bu noktadan hareketle,  $(2 \times n_x)$  ile daha anlamlı sonuç verecektir.

$$Rölatif\ düşey\ doğruluk = \sqrt{\frac{\sum(dZ_i - dZ_j)^2}{(2 \times n_x)}}, D_{min} < D < D_{max} \quad (4.13)$$

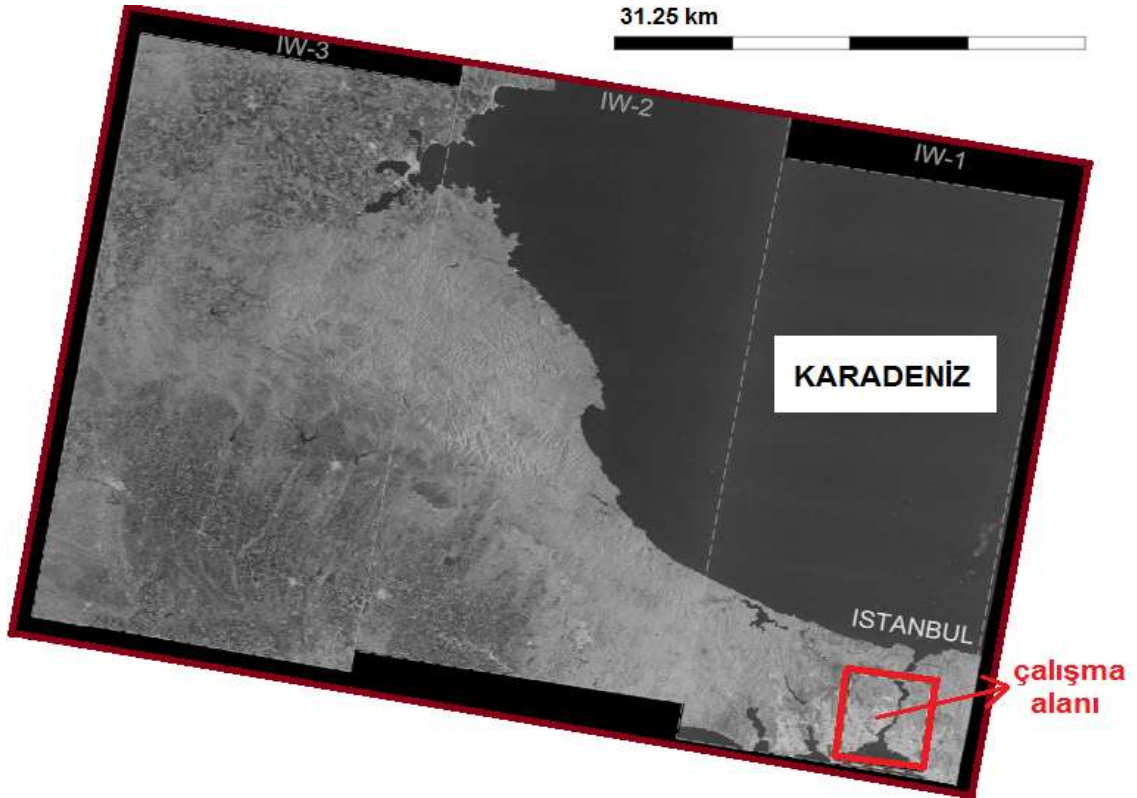


## BÖLÜM 5

### DEĞERLENDİRME ANALİZLERİ

#### 5.1 TEST ALANI KARAKTERİSTİKLERİ

Test alanı, 20 milyonu aşan nüfusu ile Türkiye'nin en büyük şehri olan İstanbul'un geniş bir bölümünden meydana gelmektedir. Alan deniz seviyesinden 335m'ye varan yüksekliklere sahip çoğunlukla tepelik bir topoğrafyadan oluşmaktadır. Test alanı kendi içerisinde açık, ormanlık, bina ve su ile kaplı olmak üzere dört farklı arazi sınıfından ibarettir. Arazi sınıflarının dağılımı dikkate alınarak 22.5km×25km'lik bir analiz alanı belirlenmiştir. Şekil 5.1'de çalışma alanının master Sentinel-1A interferometrik geniş tarama (IW) SAR görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.1 Çalışma alanının Sentinel-1A IW master görüntüsü.

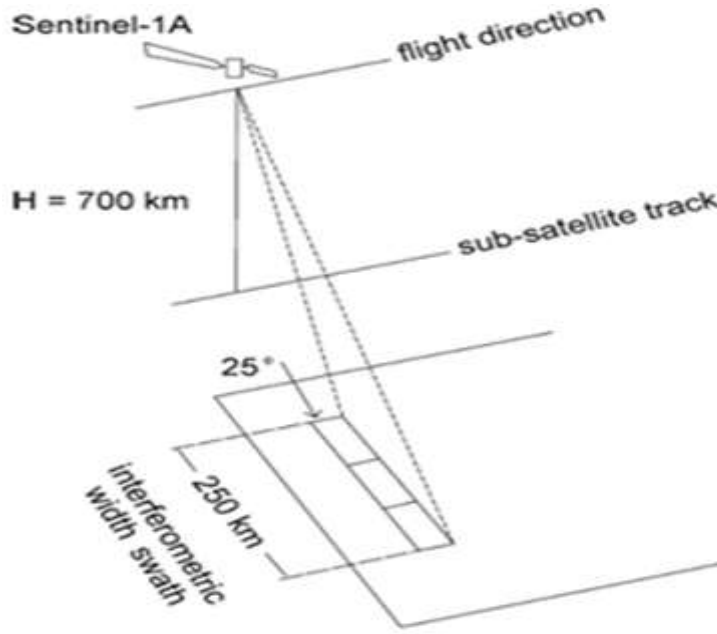
## 5.2 KULLANILAN UYDU GÖRÜNTÜLERİ

Sentinel 1, 1A ve 1B olmak üzere iki uydu kombinasyonundan oluşmaktadır. Uydu kombinasyonu risk ve afet yönetimi açısından çok önemli olan aynı bölgeden kısa sürede tekrar geçecek (6 Gün) şekilde tasarlanmıştır. Önceki SAR uydu sistemleri TerraSAR-X ve Cosmo-SkyMed uydu takım yıldızı, 4 ila 11 gün tekrarlar döngüsü sağlar, ancak yüksek çözünürlük görüntüleme genişliklerini (şerit genişliği) sınırlar. Şerit genişliğindeki bu sınırlamadan dolayı geniş felaket bölgelerinde Sentinel 1 kadar yararlı değildirler (Sefercik ve Yastıklı 2016). Çizelge 5.1 S-1A master ve slave IW InSAR çiftinin özelliklerini içermektedir. S-1A IW görüntü geometrisi, 250 km şerit genişliği sağladığından dolayı önceki SAR uydu sistemlerinden farklıdır. IW görüntüsü, IW-1, IW-2 ve IW-3 olarak adlandırılan üç alt görüntüden meydana gelmektedir. Her alt IW görüntüsü kademeli taramalar (TOPS) yöntemi ile arazi gözleminden elde edilen 9 bursta sahiptir. Yani bir S-1A IW görüntüsü 27 burst içerir. Bir ana IW görüntüsü, de-burst tekniği kullanılarak burstlar birleştirilerek oluşturulur. Master ve slave InSAR çifti yalnızca 1 periyot (12 gün) zamansal baz uzunluğuna sahiptir ve yaz döneminde elde edilmiştir. Azimuth ve mekansal çözünürlükleri, polarizasyon modları ve görüntülerin geçiş yönleri eşittir. Buna ek olarak, geliş açısı her ikisi için de yaklaşık  $39^\circ$  'dir.

**Çizelge 5.1** Master ve slave IW InSAR çiftinin özellikleri.

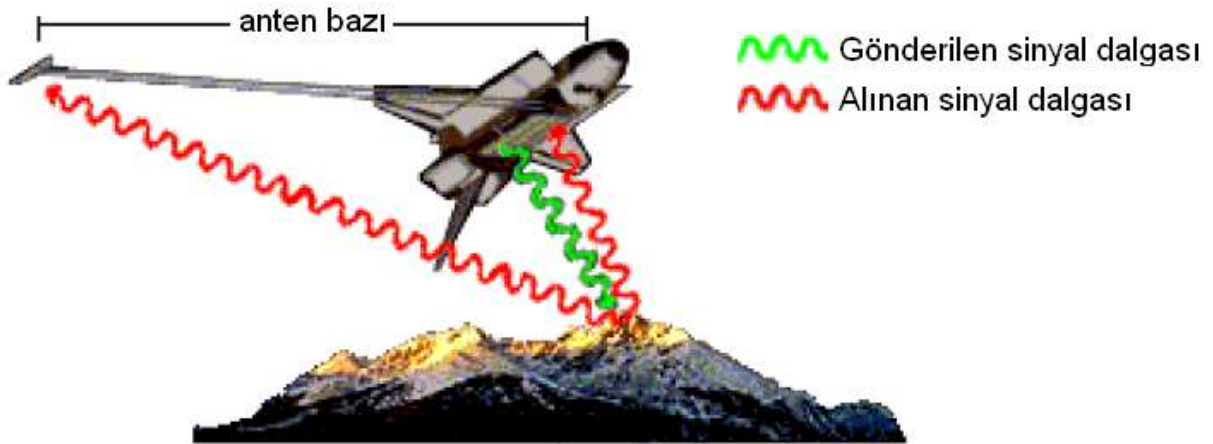
Özellik	S-1A_IW master görüntü	S-1A_IW slave görüntü
Kullanılan Band	SAR-C	SAR-C
Algılama Tipi	IW	IW
Başlangıç Zamanı (g-a-y)/Saati(s.d.sn)	05-JUL-2016 /04:13:54.037	17-JUL-2016 /04:13:59.145
Bitiş Zamanı (g-a-y)/Saati(s.d.sn)	05-JUL-2016 /04:14:21.010	17-JUL-2016 /04:14:25.263
Polarizasyon Tipi	dual Polarization	dual Polarization
Polarizasyon Kanalı	VH+VV	VH+VV
Geçiş Doğrultusu	Alçalan	Alçalan
Geliş Açısı	$38.987^\circ$	$38.907^\circ$
Tarama Merkezi Enlemi	$41.901^\circ$	$41.675^\circ$
Tarama Merkezi Boylamı	$27.853^\circ$	$27.817^\circ$
Eğik Mesafe Çözünürlüğü	9.318 m	9.318 m
Yer Mesafe Çözünürlüğü	14.836 m	14.836 m
Azimuth Çözünürlüğü	13.888 m	13.889 m
Tarama Uzunluğu ve Genişliği	185 km x 250 km	185 km x 250 km

Sentinel-1A uydusuna ait görüntü geometrisi Şekil 5.2’de sunulmuştur.



Şekil 5.2 Sentinel-1A uydusuna ait görüntü geometrisi.

Çalışmada ayrıca, SRTM uydusundan elde edilen Dijital Yüzey Modeli de Sentinel-1A sonuç yorumlamalarının daha sağlıklı yapılabilmesi amacıyla kullanılmıştır. SRTM SAR görüntüleme konfigürasyonu da Şekil 5.3’te sunulmuştur.



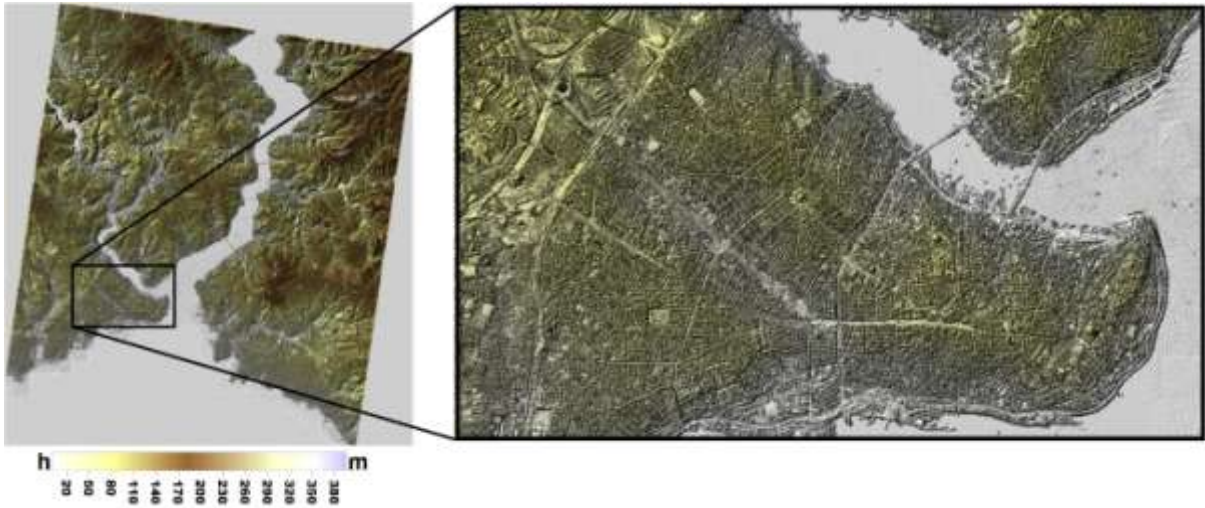
Şekil 5.3 SRTM uydusuna ait görüntü geometrisi.

### 5.3 REFERANS ALINAN VE ÜRETİLEN DYM'LER

Çalışmada, hava kaynaklı lazer tarama ile elde edilen referans DYM ve üretilen Sentinel-1A ve SRTM DYM'leri iki alt başlık altında açıklanacaktır.

#### 5.3.1 Referans DYM

Referans olarak kullanılan 5m çözünürlüklü DYM Şekil 6.1'de görülmektedir. DYM, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 2013-2014 yıllarında helikopter platformu ile gerçekleştirilen hava kaynaklı lazer tarama verilerinden elde edilmiştir. Taramalar, 16 nokta/m<sup>2</sup> olarak 600m, 1200m gibi farklı irtifalardan gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.4'den de görüleceği üzere bu yoğun nokta bulutu verisinden üretilen DYM oldukça detaylı olup, topoğrafya ve üzerindeki objeleri çok yüksek kalitede tasvir edebilmektedir.

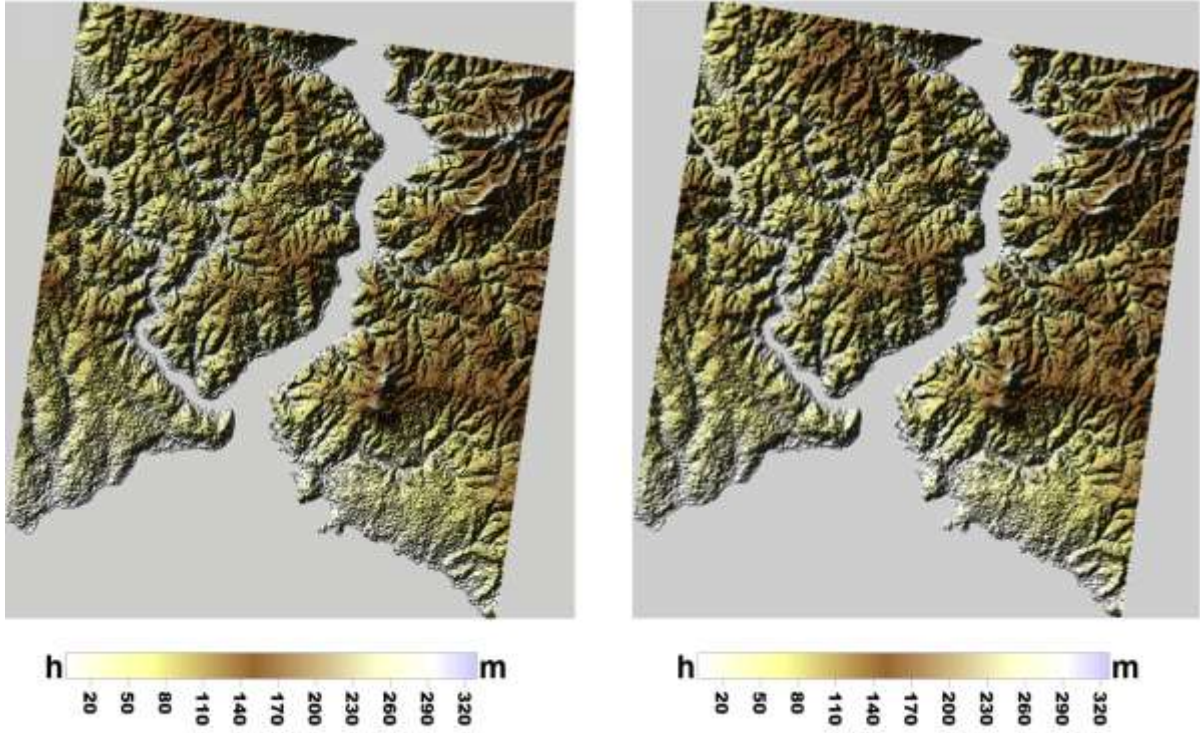


Şekil 5.4 Hava kaynaklı lazer tarama ile üretilmiş referans dijital yüzey modeli.

#### 5.3.2 Üretilen DYM'ler

Üretilen S-1A DYM'si ve SRTM DYM'si Şekil 5.5'de sunulmuştur. 15m ve 30m'lik mekansal çözünürlüklere sahip DYM'ler beklendiği gibi, referans DYM kadar detaylı bir topoğrafik tasvir yeteneğine sahip değildirler ancak her iki DYM uzay kaynaklı SAR görüntülemeye beklenen görsel DYM performansını karşılamaktadır. Dağ, tepe, sırt, suyla kaplı bölgeler vb. tüm detayların oldukça açık şekilde tasvir edildikleri görülmektedir. Bir diğer önemli görsel çıkarım ise, SAR verisi kaynaklı bu DYM'lerin birbirlerine çok yakın

sonuç vermeleridir. Çözünürlük detayına bağlı keskin görünüm haricinde S-1A DYM'si ile SRTM oldukça uyumludur.



Şekil 5.5 Sentinel-1A (sol) ve SRTM(sağ) dijital yüzey modelleri.

## 5.4 ÜRETİLEN DYM'LERİN DOĞRULUKLARI

Metodoloji bölümünde de belirtildiği üzere, doğruluklar yatay ve düşey olmak üzere iki kısımda ele alınmıştır. Düşey doğruluk değerlendirmesinin temel kuralı yatay konum hatalarının giderilip, değerlendirilen DYM'lerin tam üst üste çakışımı olduğundan öncelikle yatay konum hataları belirlenmiş ve giderilmiştir.

### 5.4.1 Yatay Doğruluklar

Çizelge 5.2, değerlendirilen S-1A ve SRTM DYM'leri ve referans DYM arasındaki yatay konum farklılıklarının standart sapmalarını yani yatay konum hatalarını yansıtmaktadır. S-1A'da tespit edilen yatay konum hataları hem X, hem de Y doğrultusunda 1m dolayındayken, SRTM DYM'sinde hata miktarı X yönünde 6m'ler seviyesine ulaşmaktadır. Bu durumun temel nedenlerinden biri SRTM DYM'si ve referans DYM arasındaki altı kata ulaşan mekansal çözünürlük farkıdır.

X ve Y yönünde ayrı ayrı belirlenen ve Çizelge 5.2’de sunulan yatay konum hataları, modellerin referans model temelinde alan bazlı çapraz korelasyon yöntemi ile ötelenmesi sonucu giderilmiş ve S-1A ve SRTM DYM’leri düşey konum doğruluğu analizlerine hazır hale getirilmiştir.

**Çizelge 5.2 S-1A ve SRTM yatay konum doğrulukları ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ).**

Referans DYM	Ötelenen DYM	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)
ALS	Sentinel-1A	-1.9022	1.2393
	SRTM-C	6.7368	-0.9730

#### 5.4.2 Düşey Doğruluklar

Yatay konum hatalarının yatay ötelemeler ile gideriminin ardından S-1A ve SRTM DYM’lerinin mutlak ve rölatif düşey konum doğrulukları analiz edilmiş ve analiz sonuçları bu bölümde sunulmuştur.

##### 5.4.2.1 Mutlak Düşey Doğruluklar

Standard sapma (SZ) ve normalleştirilmiş medyan mutlak sapma (NMAD) doğruluk göstergeleri kullanılarak elde edilen mutlak düşey doğruluklar Çizelge 6.2’de sunulmuştur. Doğruluklar, metodoloji bölümünde de bahsedildiği üzere sınıfsal olarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tüm arazi sınıflarının bir arada yer aldığı genel analize ek olarak, dünyada doğruluk değerlendirmelerinde zamansal değişime maruz kalmaması nedeniyle en güvenli arazi sınıfı olarak görülen açık alanlar yanı sıra ormanlık ve bina alanları ayrı ayrı analiz edilmiştir. Çizelge 5.3’de bulunan değerler incelendiğinde S-1A ve SRTM uydusundan üretilen DYM’lerin düşey doğruluk değerlerinin tüm arazi sınıflarında oldukça yakın olduğu ancak mekansal çözünürlük ve güncelliğin getirdiği avantajlarla S-1A DYM’sinin tüm sınıflarda SRTM’e göre düşük bir farkla daha doğru sonuç verdiği tespit edilmiştir. Doğruluk farkları, tüm alanda 65cm, açık alanda yaklaşık 50cm, bina sınıfında 65cm ve orman sınıfında yaklaşık 70cm’dir. Alanda %55 oranında dominant sınıf bina olduğundan tüm alan sonuçları, bina sınıfı sonuçları ile paralellik göstermektedir.



Çizelge 5.3’de ayrıca eğimsiz arazilerde ki düşey doğruluk değerleri de sergilenmiştir. Arazi eğimi yaklaşık  $5.7^\circ$ ’den ( $\tan \alpha < 0.1$ ) küçük olan hemen hemen eğimsiz araziler için yapılan analizler sonucunda her iki model doğruluğunun da tüm arazide yaklaşık 4.5m seviyesinde olduğu belirlenmiştir. S-1A DYM’si eğimsiz arazilerde de açık, bina ve orman sınıflarında da SRTM DYM’sinden yaklaşık 30cm daha yüksek düşey doğruluk sunmaktadır. NMAD değerleri ise SZ ile normal ilişki sergilemiş ve eğim dahil ve hariç yapılan analizlerin tümünde beklendiği şekilde SZ’den daha yüksek düşey doğruluk sonuçları elde edilmiştir. Bu durum, üretilen her iki DYM’de de anormal yani aykırı piksel yapılanmasının olmadığına işaretler. Yani, her iki DYM, referans model ile yapılan kıyaslama sonucunda kalite yönünden olumsuz durum sergilememiş, SAR görüntüleme avantajlarını olumlu kullanmış DYM performansları elde edilmiştir.

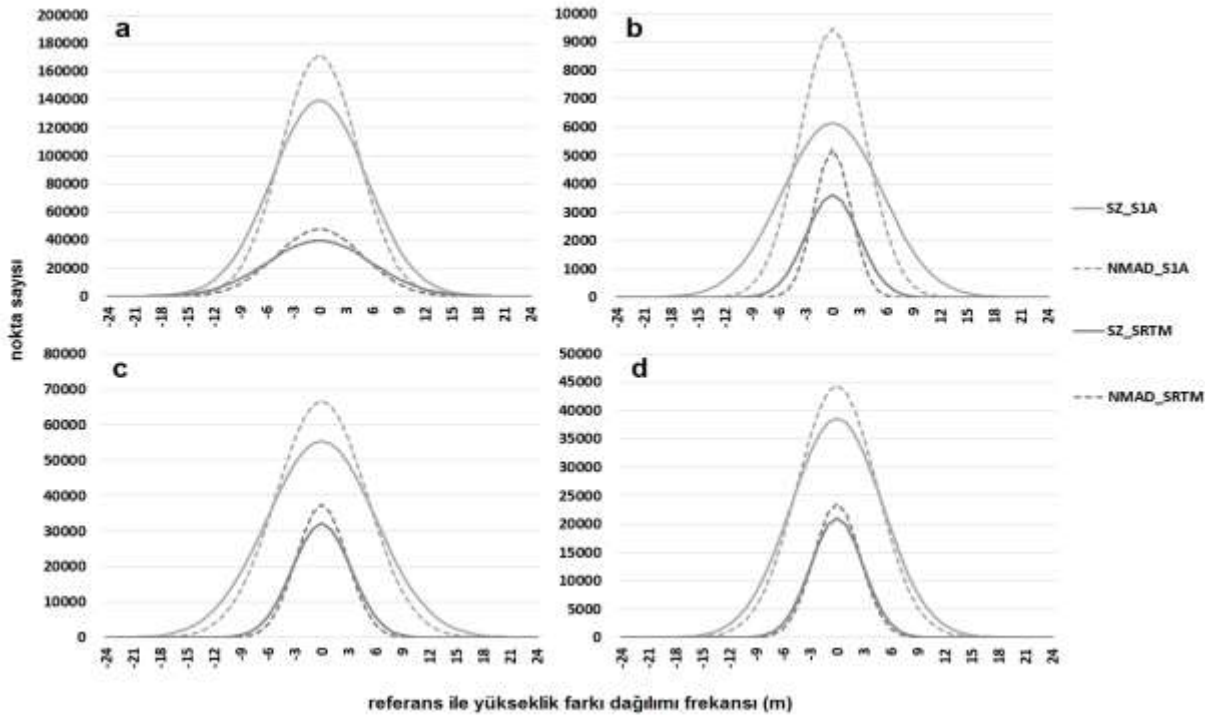
**Çizelge 5.3** S-1A ve SRTM DYM’lerine ait mutlak düşey doğruluklar ( $\alpha$ = arazi eğimi).

Ref. DYM	Test DYM	Arazi sınıfı	Oran (%)	Nokta sayısı ( $\alpha < 0.1$ )	SZ (sistematik hata= 0) (m)		NMAD (m)		Hariç noktalar>50m (%)
					SZ arazi eğim etkili	SZ $\alpha < 0.1$	NMAD arazi eğim etkili	NMAD $\alpha < 0.1$	
ALS (5m)	S-1A (15m)	Tüm alan	100	1875218 *591763	5.10 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	4.38	4.07 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	2.07	0.10
		Açık alan	4.58	85649 *39532	5.49 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	5.25	3.39 $+0.33 \times \tan(\alpha)$	3.29	0.13
		Bina	55.69	837438 *192763	5.22 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	5.33	4.27 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	4.74	0.06
		Orman	28.85	3989233 *502960	5.17 $+0.26 \times \tan(\alpha)$	5.51	4.25 $+0.26 \times \tan(\alpha)$	4.72	0.14
	Tüm alan	100	585774 *184323	5.75 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	4.62	4.65 $+0.09 \times \tan(\alpha)$	2.09	0.10	
	SRTM C (30m)	Açık alan	4.58	26637 *12542	6.02 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	5.36	4.00 $+0.21 \times \tan(\alpha)$	3.49	0.14
		Bina	55.69	261671 *60058	5.87 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	5.62	4.822 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	4.91	0.06
		Orman	28.85	152551 *19080	5.85 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	6.02	4.879 $+0.00 \times \tan(\alpha)$	5.06	0.14

Şekil 5.6 ve 5.7’te S-1A ve SRTM modellerinin referans modelden olan yükseklik farklılıklarının dağılım frekans grafikleri eğimli dahil ve hariç olacak şekilde yer almaktadır. Referanstan olan farkların grafiksel gösterimi, düşey konum doğruluğu analizlerinde olmazsa olmaz bir göstergedir. Dağılımın yapısı, analiz edilen DYM’lerin performansları hakkında direkt yorumlama şansı sunmaktadır. Frekans dağılımının simetrik oluşu test edilen modelin

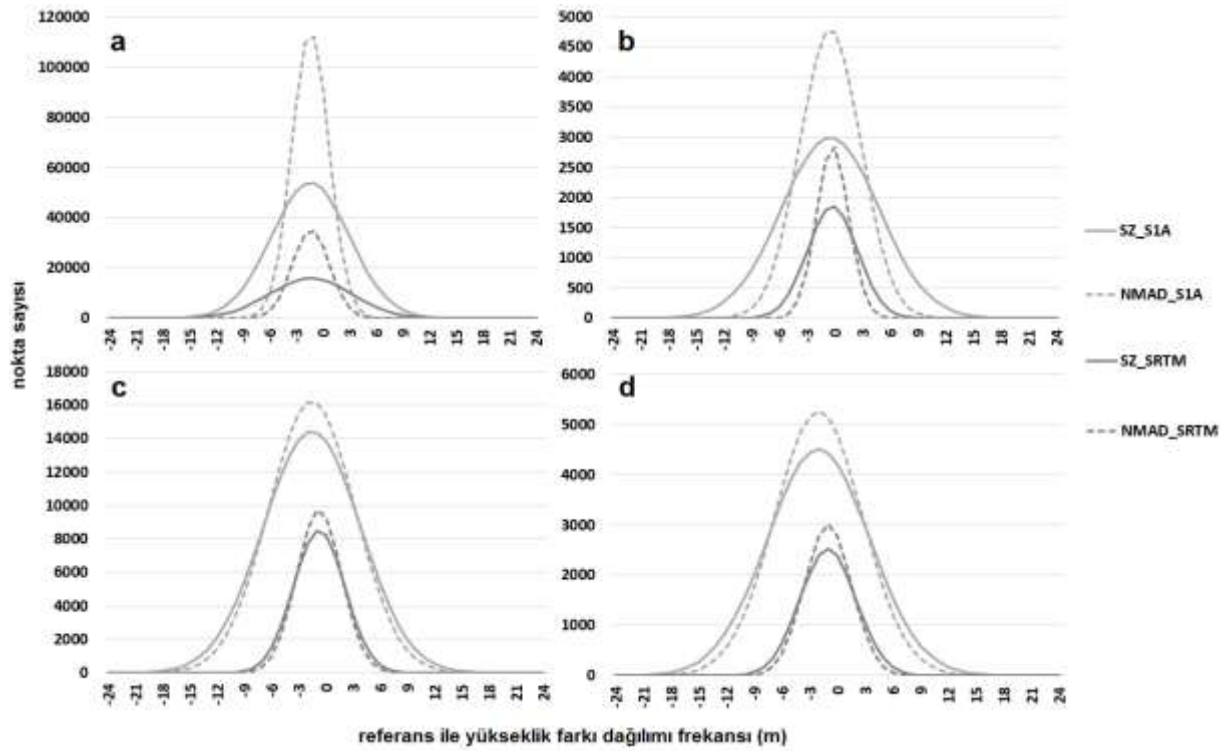
referans model ile olan uyumuna işaretler. Simetrik dağılımın anlamı, aykırı noktaların sebep olduğu raslantısal hataların olmadığı ya da minimal seviyede olduğudur. DYM değerlendirmesinde aykırı noktaların dağınık dağılımı istenmeyen bir durumdur. Bu durum, üretilen DYM’de bölge bölge distorsiyonların olduğuna işaretler. Şekil 5.6’da eğimli ve eğimsiz tüm arazileri kapsayan durumda grafiklerin tüm sınıflar için ayrı ayrı incelenmesi neticesinde S-1A ve SRTM modellerinin her ikisinin de simetrik yani istenen yapıda olduğu saptanmıştır. S-1A DYM’si daha yüksek çözünürlüklü olduğundan piksel sayısı daha yüksektir ve grafikte dağılım daha yukarı da yer almaktadır. Grafikte, SZ ve NMAD değerleri için ayrı ayrı gösterim sunulmuş olup NMAD değerleri taralı şekilde yer almaktadır. SZ ve NMAD arasında her iki model içinde uyumluluk olduğu grafiklerde açık şekilde görülmektedir. Yani, her ikisinde SAR verisi ile üretilmiş olan S-1A ve SRTM DYM’leri bölgeyi oldukça benzer şekilde tasvir etmişlerdir. Layover, foreshortening ve shadow distorsiyon etkileri oldukça benzerdir.

NMAD frekans dağılımlarının SZ’e kıyasla daha iyi olması durumu da S-1A ve SRTM DYM’lerinin tüm sınıflarında geçerlidir.



**Şekil 5.6** Referans modelden olan yükseklik farklılıklarının dağılım frekansı (tüm arazi), tüm sınıflar (a), açık alan (b), bina (c), orman (d).

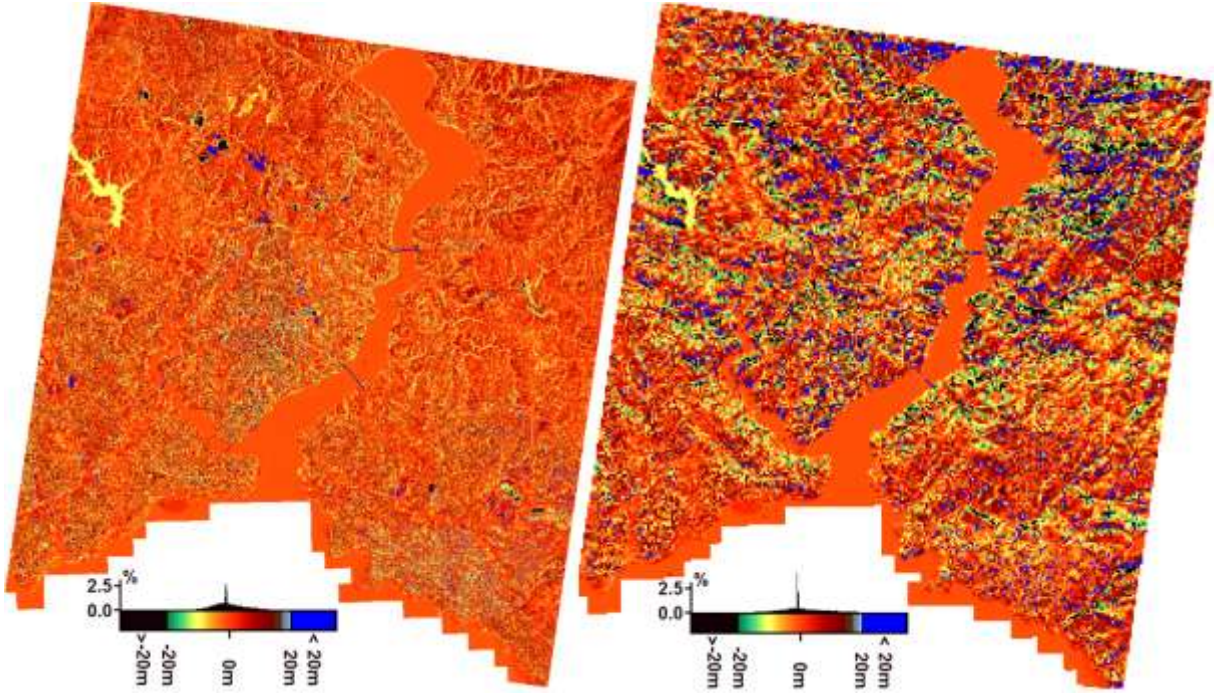
Eğimsiz arazilerde düşey doğruluğun tüm arazilere kıyasla fark frekans dağılımının sıfır değeri dolayında çok daha sivri simetrik olduğu Şekil 5.7’de görülmektedir. Bu durum, referansla tamamen bağdaşan yani sıfır farka sahip noktaların eğimsiz arazilerde çok daha yoğun olduğuna işaretir. Eğimsiz arazilerde elde edilen bu sonuç, uzay kaynaklı uzaktan algılamanın hem optik hem de radar sistemleri için olması gereken bir şarttır. Üretilen her iki model bu şartı kusursuz olarak sağlamaktadır. Şekil 5.6 ve 5.7 beraber incelendiğinde eğimsiz arazilerde NMAD ve SZ arasındaki farkın çok daha belirgin hale geldiği açık şekilde görülmektedir. Özellikle açık alan arazi sınıfında bu durum çok daha net şekilde ortaya çıkmıştır.



**Şekil 5.7** Referans modelden olan yükseklik farklılıklarının dağılım frekansı (eğimsiz araziler), tüm sınıflar (a), açık alan (b), bina (c), orman (d).

Şekil 5.8’te S-1A ve SRTM DYM’lerinin referans modelle model bazlı analizlerinden yani kıyaslanmalarından elde edilen piksel bazlı fark yükseklik modelleri sergilenmiştir. Renk skalaları dikkate alındığında SRTM modeline göre S-1A modelinin referans modelle çok daha uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Skalada mavi ve siyah bölgelerde yükseklik farkları 20m üzerindedir. Renkli bölgeler  $\pm 20m$ ’ye kadar olup turuncu bölgeler tamamen uyumludur. S-1A fark yükseklik modelinde çok sınırlı sayıda olan mavi bölgeler havza değişimi gösteren sulak alanlardır ve referans model de hava kaynaklı lazer verisinden üretildiğinden bu

bölgelerde performans beklemek anlamsızdır. SRTM DYM'sindeki mavi bölgeler yani  $\pm 20\text{m}$  üzeri hata içeren bölgeler incelendiğinde, modelin özellikle boğaz kıyılarında ve kıyıların iç bölümlerinde lineer hatalara maruz kaldığı tespit edilmiştir. SAR görüntüleme için problematik olan kıyı alanlarında benzer sorun S-1A DYM'sinde de bulunmakta ancak şekilde de görüldüğü üzere hata miktarları 10m ve altında kalmaktadır. Bunların yanı sıra, SRTM modelinin düşük mekansal çözünürlük nedeniyle özellikle ortalamadan yüksek ve dar binaların (gökdelenler, kuleler vb.) tasvirinde sorun yaşadığı tespit edilmiştir. Şekil 5.8'in genel görünümü tekrar incelendiğinde S-1A teknolojisi ile üretilen DYM'nin SRTM'e göre çok daha fazla oranda referansla uyumlu olduğu net olarak anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.8** Fark yükseklik modelleri: S-1A (Sol), SRTM (Sağ).

#### 5.4.2.2 Rölatif Düşey Doğruluklar

Üretilen raster DYM'leri oluşturan piksellerin kendi iç uyumlarını yansıtan rölatif düşey doğruluklar Çizelge 5.4'te görülmektedir. Çizelge'den de açık şekilde görülebileceği gibi, her iki modelin de rölatif düşey doğrulukları mutlak düşey doğruluklarına oranla daha yüksektir. Bu durum, SAR görüntülemenin temel prensiplerinden biridir. SAR görüntülemenin en büyük artlarından biri komşuluk penceresindeki piksellerin iç uyumlarının dış referansa mutlak

uyumlarına göre daha yüksek performansta olmasıdır. Çizelge'den ayrıca S-1A başlangıç değerlerinin tüm sınıflarda SRTM'e kıyasla daha yüksek doğrulukta olduğu görülmektedir.

**Çizelge 5.4** Rölatif düşey doğruluklar.

mesafe (m)	S-1A				SRTM			
	Tüm alan (m)	Açık (m)	Bina (m)	Orman (m)	Tüm alan (m)	Açık (m)	Bina (m)	Orman (m)
5	3.69	2.61	4.81	2.72	4.27	3.30	5.39	3.48
10	4.27	3.47	5.34	3.48	4.89	4.24	5.86	4.45
15	4.60	4.01	5.60	3.97	5.26	4.78	6.13	4.97
20	4.81	4.37	5.75	4.27	5.45	5.08	6.26	5.23
25	4.95	4.61	5.84	4.44	5.56	5.21	6.33	5.37
30	5.03	4.78	5.88	4.55	5.63	5.32	6.37	5.46
35	5.08	4.88	5.91	4.62	5.67	5.41	6.39	5.52
40	5.11	4.95	5.93	4.67	5.70	5.49	6.39	5.56
45	5.14	5.02	5.94	4.71	5.72	5.57	6.41	5.59
50	5.17	5.08	5.96	4.74	5.74	5.63	6.42	5.60

Üretilen her iki modelin rölatif düşey doğrulukları 10 piksel çerçevesinde gerçekleştirilen analizler sonucunda ilk ve son piksel arası yaklaşık 2m uyumlu olarak saptanmıştır. Bu sayısal sonuç, SAR DYM'lerin içsel bütünlüğünü ve kalitesini açık şekilde yansıtmaktadır.



## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu çalışmada, İstanbul'un tamamına yakınına kapsayan geniş bir test alanında Sentinel-1A SAR uydusunun görüntülerinden InSAR tekniği ile üretilen dijital yüzey modelinin performansı analiz edilmiştir.

Analizler, hava kaynaklı lazer tarama tekniği ile elde edilen verilerden üretilen yüksek kalitede bir dijital yüzey modeli referanslığında model bazlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)'den aynı bölgede elde edilen bir dijital yüzey modelinde sonuç analizlerde daha iyi yorumlama amacıyla kullanılmıştır. Analizlerde, Sentinel-1A uydusundan elde edilen dijital yüzey modelinin yatay ve düşey konum doğrulukları detaylı olarak ortaya konmaya çalışılmıştır. Düşey mutlak ve rölatif doğruluklar ayrı ayrı tespit edilmiştir.

Şekil 5.4 ve 5.5 incelendiğinde, üretilen DYM'lerin topoğrafik tasvir potansiyellerinin referans DYM kadar detaylı olmadığı görülmüştür. Ancak, üretilen DYM'lerin SAR görüntüleme metodunun sunmuş olduğu görüntüleme yeteneğini sağladıkları tespit edilmiştir. Ayrıca S-1A DYM ile SRTM DYM arasında mekansal çözünürlükten kaynaklanan görünüm farklılığı dışında oldukça iyi bir uyum olduğu analiz edilmiştir. Çizelge 5.3'te sınıflandırılarak sunulan, S-1A DYM ve SRTM DYM ait düşey doğrulukların test alanının tamamında ve tüm sınıflarda birbirine yakın olmakla beraber S-1A'nın SRTM'e oranla az farkla da olsa daha iyi olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.6 ve 5.7'te verilen dağılım frekans grafikleri incelendiğinde; Şekil 5.6'da (eğimli ve eğimsiz tüm arazileri kapsayan durumda) grafiklerin tüm sınıflar için S-1A ve SRTM'in simetrik yani istenen yapıda olduğu saptanmıştır. Şekil 5.7'de ise, beklendiği gibi düşey doğruluğun tüm arazilere kıyasla sıfır farka sahip noktaların eğimsiz arazilerde çok daha yoğun olduğu görülmüştür. S-1A DYM'sinin çözünürlüğünün SRTM DYM'sine göre daha iyi olması grafiklerde daha iyi bir dağılım göstermesine sebebiyet vermiştir. Şekil 5.8'de sunulan fark yükseklik modellerinden anlaşıldığı üzere, mekansal

Çözünürlük nedeniyle ormanlık alanlarda, kıyı kesimlerinde ve yüksek irtifaya sahip olan yapılarda, SRTM'in topoğrafik tasvir potansiyelinin S-1A'ya kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür.

Sonuçlar incelendiğinde, Sentinel-1A uydusundan elde edilen dijital yüzey modelinin SRTM'e kıyasla referans modelle daha iyi uyuşum gösterdiği ve doğruluk seviyesinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak SRTM uydusundan elde edilen verilerin 2000 tarihli oluşu da bu kıyaslamada göz önünde bulundurulmalıdır. Keza İstanbul ili Türkiye'nin en hızlı değişim gösteren metropolüdür.



## KAYNAKLAR

- Alobeid A, Jacobsen K and Heipke C** (2010) Comparison of Matching Algorithms for DSM Generation in Urban Areas from IKONOS Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76 (9): 1041–1050.
- ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing)** (2004). *ASPRS Guidelines Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data*. Adres: [http://www.asprs.org/a/society/committees/lidar/Downloads/Vertical\\_Accuracy\\_Reporting\\_for\\_Lidar\\_Data.pdf](http://www.asprs.org/a/society/committees/lidar/Downloads/Vertical_Accuracy_Reporting_for_Lidar_Data.pdf)
- Baltsavias E, Gruen A, Eisenbeiss H, Zhang L and Waster T** (2008) High-Quality Image Matching and Automated Generation of 3D Tree Models. *International Journal of Remote Sensing*, 29 (5): 1243-1259.
- Campbell J B and Wynne R H** (2011) *Introduction to Remote Sensing*. 5th edition, ISBN: 978-160918-176-5, Adivision of Guilford Publications, Newyork, 718 p.
- Crombaghs M J E, Bruegelmann R and De Min E J** (2000) On the Adjustment of Overlapping Strips of Laser Altimeter Height Data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33 (B3/1): 230–237.
- CURLANDER J C and Mcdonough R N** (1991) *Synthetic Aperture Radar System and Signal Processing*, 1st edition, ISBN: 978-0-471-85770-9, Wiley, New York, 672 s.
- Curry G** (2005) *Radar System Performance Modeling*. 2nd edition, ISBN: 1-58053-816-9, Artech House, London, 394 s.
- Çölkesen İ** (2009) Uzaktan Algılamada İleri Sınıflandırma Tekniklerinin Karşılaştırılması ve Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, G.Y.T.E, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze, 153 s.
- Elachi C** (1987) *Introduction to Physics and Techniques of Remote Sensing*, 2nd edition, ISBN: 0-471-84810-7, , John Wiley and Sons, New York, 432 s.
- Hellerstein J M** (2008) Quantitative Data Cleaning for Large Databases. *Technical Report Presented at United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)*, Kaliforniya, ABD, 42 s.
- Huising E J and Gomes Pereira L M** (1998) Errors and Accuracy Estimates of Laser Data Acquired by Various Laser Scanning Systems for Topographic Applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53 (5): 245-261.
- Jacobsen K** (2003) DEM Generation from Satellite Data., 5–7 Haziran 2003, Gent, Belçika, 273–276.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Jacobsen K** (2012) Characteristics of Nearly World Wide Available Digital Height Models. *10th Seminar on Remote Sensing and GIS Applications in Forest Engineering*, 15-18 Ekim 2012, Curitiba, Brezilya, 8 s.
- Lillesand T M and Kiefer R W** (2000) *Remote Sensing and Image Analysis*. 4th Edition, ISBN: 0-471-15227-7, John Wiley and Sons, New York, 736 s.
- Maktav D ve Sunar F** (1990) *Uzaktan Algılama-Kantitatif Yaklaşım*. Hürriyet Ofset, İstanbul, 429 s.
- Örmeci C** (1987) *Uzaktan Algılama (Temel Esaslar ve Algılama Sistemleri)*. 1.Baskı, İ.T.Ü.Matbaası, İstanbul, 112 s.
- Sefercik U** (2006) Graduate School of Natural and Applied Sciences Geodesy and Photogrammetry Engineering. *Yüksek Lisans Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Anabilim Dalı, Zonguldak, 100 s.
- Sefercik U** (2014) *Uzaktan Algılama Ders Notları*. BEÜ 2014-2015 Eğitim Öğretim Yılı Güz Dönemi Lisans Dersi, Zonguldak, Türkiye, 20 s.
- Sefercik U** (2015) *Mikrodalga Algılama Sistemleri Ders Notları*. BEÜ 2014-2015 Eğitim Öğretim Yılı Bahar Dönemi Lisans Dersi, Zonguldak, Türkiye, 15 s.
- Sefercik U G** (2010) *Generation and Evaluation of DEMs Derived by TerraSAR-X InSAR Images. Doktora Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Anabilim Dalı, Zonguldak, 225 s.
- Sefercik U G and Dana L** (2011) Crucial Points of Interferometric Processing for DEM Generation Using High Resolution SAR Data, *ISPRS Hannover Çalıştayı*, , 14-17 Haziran 2011, Hannover, Almanya International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII-4/W19, 289-296.
- Sefercik U G and Yastıklı N** (2016) ALS model-based comparison of Cosmo-SkyMed and TerraSAR-X HS DSMs on varied land forms, *Journal of Spatial Science*, 61(1), 119-131.
- Smith L** (2000) Remote-Sensing Technologies, *GIS Lounge*, Adres: <http://gislounge.com/features/aa121900.shtml>
- Sunar F** (Ed.) (2011) 1. Ünite. *Uzaktan Algılama*. 1. baskı, ISBN: 978-975-06-0995-4, Anadolu Üniversitesi Web-Ofset, Eskişehir, 2-22.
- URL-1** [http://www.ciragharita.com.tr/?page\\_id=30](http://www.ciragharita.com.tr/?page_id=30) (21.04.2017)
- URL-2** <http://sharitaonline.blogspot.com.tr/2015/05/uzaktan-algilama-nerelerde-kullanlr.html> (20.04.2012)
- URL-3** <http://www.lafsozluk.com/2012/10/elektromanyetik-nedir-ne-demektir.html> (20.04.2017)

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-4** <http://www.karmabilgi.netduzgun-ve-daginik-yansima> (21.04.2017)
- URL-5** [http://www.cartospace.com.tr/?page\\_id=20](http://www.cartospace.com.tr/?page_id=20) (28.04.17)
- URL-6** [http://www.cartospace.com.tr/?page\\_id=20](http://www.cartospace.com.tr/?page_id=20) (28.04.17)
- URL-7** <http://www.kozmikanafor.com/radar-ve-radardan-gizlenmek/> (05.05.2017)
- URL-8** <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiradarlari.aspx?s=bantlar/> (05.05.2017)
- URL-9** <https://www.mgm.gov.tr/sondurum/radar.aspx/> (05.05.2017)
- URL-10** [http://www.radartutorial.eu19.kartei13.labspicskyradar\\_ppi.png](http://www.radartutorial.eu19.kartei13.labspicskyradar_ppi.png) (13.05.2017)
- URL-11** [http://www.radartutorial.eu20.airbornepicSLAR-geometry\\_p.tr.jpg](http://www.radartutorial.eu20.airbornepicSLAR-geometry_p.tr.jpg) (13.05.2017)
- URL-12** [http://www.sdt.com.trtruzmanlik-alanlariuzaktan-algilama-sistemlerisentetik-aciklikli - radar-sar-sistemleri](http://www.sdt.com.trtruzmanlik-alanlariuzaktan-algilama-sistemlerisentetik-aciklikli-radar-sar-sistemleri) (10.05.2017)
- URL-13** <http://www.geo.hunter.cuny.edu/terrain/radarii.html> (13.05.2017)
- URL-14** [http://www.cartospace.com.tr/?page\\_id=20](http://www.cartospace.com.tr/?page_id=20) (14.05.2017)
- URL-15** Distortions<http://www.nrcan.gc.ca/node/9325>
- URL-16** <http://mtp.jpl.nasa.gov/index.html>, Microwave Temperature Profiler (MTP), NASA (10.04.2009)
- URL-17** <http://www.noaa.gov/>, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (12.04.2009)
- URL-18** <http://www.dlr.de/>, German Aerospace Center (DLR) (01.09.2008)
- URL-19** <https://directory.eoportal.org/web/eoportalsatellite-missions/content-article/cosmoskmed> (03.06.2017)
- URL-20** <http://spaceflight101.com/copernicus/sentinel-1/> (04.06.2017)
- URL-21** <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-1> (04.06.2017)
- Wang Z, Shu R, Xu W, Pu H and Yao B** (2008) Analysis and Recovery of Systematic Errors in Airborne Laser System. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII (B1): 289–294.
- Wheaton J M, Brasington J, Darby S E and Sear D A** (2010) Accounting for Uncertainty in DEMs from Repeat Topographic Surveys: Improved Sediment Budgets. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35 (2): 136–156.



## ÖZGEÇMİŞ

Mahmut GÖRKEN 1991 yılında Bitlis'in Hizan ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Mersin'in Tarsus ilçesinde tamamladıktan sonra 2010 yılında Düzce Üniversitesi Kaynaşlı Meslek Yüksek Okulu Harita ve Kadastro bölümünde ön lisans eğitimine başladı. 2012 yılında ön lisans eğitimini tamamladıktan sonra DGS sınavında başarılı olarak Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2015 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl yerleştiği BEÜ Fen Bilimleri Geomatik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Adres: Fevzi Çakmak Mahallesi

1767 Sokak No: 23

Tarsus/MERSİN

Tel: (+90) 5426584942

E-posta: mahmudgorken@gmail.com