

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RADARGRAMETRİK KÖŞE-YANSITICI İSTASYON AĞI KURULMASI VE KÖŞE-
YANSITICI GEOMETRİSİNİN RADAR SİNYAL ŞİDDETİ, KESİT ALANI VE
DİJİTAL YÜZEY MODELİ PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
ANALİZİ**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

CAN ATALAY

OCAK 2024

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RADARGRAMETRİK KÖŞE-YANSITICI İSTASYON AĞI KURULMASI VE KÖŞE-
YANSITICI GEOMETRİSİNİN RADAR SİNYAL ŞİDDETİ, KESİT ALANI VE
DİJİTAL YÜZEY MODELİ PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
ANALİZİ**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Can ATALAY

DANIŞMAN : Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

İKİNCİ DANIŞMAN : Doç. Dr. Hakan AKÇIN

ZONGULDAK

Ocak 2024

KABUL:

Can ATALAY tarafından hazırlanan “Radargrametrik Köşe-Yansıtıcı İstasyon Ağı Kurulması ve Köşe-Yansıtıcı Geometrisinin Radar Sinyal Şiddeti, Kesit Alanı ve Dijital Yüzey Modeli Performansı Üzerindeki Etkilerinin Analizi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle/oyçokluğuyla kabul edilmiştir. 23/01/2024

Danışman: Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK
Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU
Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Aycan Murat MARANGOZ
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. Dr. Naci YASTIKLI
Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../20....

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN
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.”

Can ATALAY

ÖZET

Doktora Tezi

RADARGRAMETRİK KÖŞE-YANSITICI İSTASYON AĞI KURULMASI VE KÖŞE-YANSITICI GEOMETRİSİNİN RADAR SİNYAL ŞİDDETİ, KESİT ALANI VE DİJİTAL YÜZEY MODELİ PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ANALİZİ

Can ATALAY

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

İkinci Danışman: Doç. Dr. Hakan AKÇIN

Ocak 2024, 91 sayfa

İnterferometri ve radargrametri, modern sentetik açıklıklı radar (SAR) teknolojisinde önemli dijital yüzey modeli (DYM) oluşturma teknikleridir. İnterferometri, saha çalışması gerektirmeyen yapısı nedeniyle sıklıkla tercih edilse de, temel zorluk uygun görüntü çiftlerinin temin edilmesinde yatmaktadır. Öte yandan, yer kontrol noktaları (YKN) ile saha çalışması gerektiren radargrametri, çok yönlülük sunmakta ancak köşe yansıtıcı geometrisinin titizlikle değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Bu çalışma, hem yansıtıcı tasarımını hem de uydu konumlandırma geometrisini kapsayan radargrametrik yönlendirme ve DYM üretimi için en uygun köşe yansıtıcı geometrisini belirlemeye çalışmaktadır. Köşe yansıtıcıların etkinliği, doğru spektral değerler ve piksel

ÖZET (devam ediyor)

aydınlatması sağlayan hassas konumlandırmaya dayanır. Genel amaç, değişen SAR çözünürlükleri için uygun köşe yansıtıcı tiplerini belirlemek ve böylece üstün geometrik doğruluğa sahip yüksek kaliteli DYM'lerin üretimini kolaylaştırmaktır.

Köşe yansıtıcılarının yerleşimi ve yöneltimi sonucunda, elipsoidal bakış açısı ile hesaplanan taban plakası eğim açısına göre üretilmiş DYM'nin 3B konum doğruluğu ve topoğrafya tasviri radargrametrik modeller içerisinde 8,585 m standart sapma değeri ile en başarılısıdır. Lokal bakış açılarının ortalamasıyla hesaplanan taban plakası eğim açısına göre üretilen DYM standart sapma 14,645 m ile başarımı en düşük model olmuştur.

Bu araştırmanın önemi, ulusal radar uydu misyonları için bilimsel hazırlığa katkısında yatmaktadır. Radargrametrinin yoğun olarak çalışıldığı diğer ülkelerin aksine, bu alan Türkiye'de kapsamlı olarak araştırılmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Köşe-yansıtıcı, Radar Kesit Alanı, Radargrametri, Sentinel-1A, Sayısal Yükseklik Modeli

Bilim Kodu: 616.01.00

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

RADARGRAMMETRIC CORNER-REFLECTOR STATION NETWORK AND ANALYSIS OF THE EFFECTS OF CORNER-REFLECTOR GEOMETRY ON RADAR SIGNAL INTENSITY, CROSS SECTION AND DIGITAL SURFACE MODEL PERFORMANCE

Can ATALAY

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

Thesis Advisor: Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hakan AKÇIN

January 2024, 91 pages

Interferometry and radargrammetry are pivotal digital surface model (DSM) generation techniques in contemporary synthetic aperture radar (SAR) technology. While interferometry is often preferred for its fieldwork-free nature, the primary challenge lies in sourcing suitable image pairs. On the other hand, radargrammetry, necessitating fieldwork with ground control points (GCPs), offers versatility but demands meticulous consideration of corner-reflector geometry.

This study endeavors to establish the optimal corner-reflector geometry for radargrammetric orientation and DSM generation, encompassing both internal reflector design and satellite positioning geometry. The efficacy of corner-reflectors relies on precise positioning, ensuring

ABSTRACT (continued)

accurate spectral values and pixel illumination. The overarching goal is to identify corner-reflector types suitable for varying SAR resolutions, thereby facilitating the production of high-quality DSMs with superior geometric accuracy.

As a result of the location and orientation of the corner reflectors, the 3D position accuracy and topography depiction of the DSM produced according to the base plate tilt angle calculated with the ellipsoidal viewpoint is the most successful among the radargrammetric models with a standard deviation value of 8.585 m. The DSM produced according to the baseplate tilt angle calculated by averaging the local viewpoints was the least successful model with a standard deviation of 14.645 m.

The significance of this research lies in its contribution to scientific preparedness for national radar satellite missions. This field has not been extensively explored in Turkey, unlike other nations where radargrammetry has been extensively studied. Consequently, this project represents the inaugural comprehensive examination of corner-reflector geometry in radargrammetry within the Turkish context. The findings are poised to enrich the SAR literature and catalyze advancements in radar remote sensing capabilities on a national scale.

Keywords: Corner-reflector, Radar Cross Section, Radargrammetry, Sentinel-1A, Digital Elevation Model

Science Code: 616.01.00

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında bana her türlü destek ve yardımı sunan, bilgi, tecrübe ile çalışmalarına yol gösteren Sayın Hocam Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK'e,

Köşe-yansıtıcıların konumlandırılmasında üretiminde fikir ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen babam Maden Yüksek Mühendisi Namık ATALAY'a

Köşe-yansıtıcı Radartepe mevkinde parsel sahibi Haydar KÖSTERİT'in cihazın korunmasında gözlenmesinde yardımlarından dolayı

Köşe-yansıtıcı Kılıç mahallesinde parsel sahibi Remzi KARA ve ailesinin destekleri korunması konusundaki yardımlarından dolayı,

Köşe-yansıtıcı Sapça mevkiî Celepcioğlu Mahalle muhtarı Celil AKKAYA'ya cihazın konumlandırılması ve korunması konusunda sağladığı destekten dolayı,

Köşe-yansıtıcı Ramazanoğlu köyü konumlandırıdığımız parsel izni için Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK ve ailesine,

Köşe-yansıtıcı Çaycuma MYO, Kozcağz Orman Şefliğı ve Bartın Üniversitesi birimlerindeki çalışanlara,

Karadon Müessessi Metal Atölyesi çalışanlarına,

Çalışmanın öncesinde ve sırasında maddi manevi destekleri esirgemeyen sevgili aileme, kızım Turna ve eşim Fatma Nur ATALAY'a teşekkürlerimi borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
1.1 MOTİVASYON	1
1.2 ÇALIŞMANIN LİTERATÜRDEKİ YERİ VE ÖNEMİ.....	2
1.3 ÇALIŞMANIN YAPISI	3
 BÖLÜM 2 YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (SAR) TEMELLERİ VE STEREO- RADARGRAMETRİ.....	 5
2.1 YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (SAR).....	5
2.1.1 SAR Sisteminin Temel İlkeleri.....	7
2.1.2 SAR Sisteminin Distorsiyonları.....	9
2.1.2.1 Kısa görüntüleme	10
2.1.2.2 Örtüşme	11
2.1.2.3 Gölge	12
2.2 SENTİNEL-1 UYDUSUNUN ÖZELLİKLERİ.....	12
2.2.1 Sentinel-1 Veri Toplama Türleri.....	14
2.3 STEREO-RADARGRAMETRİ.....	16

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 3 RADAR KESİT ALANI VE KÖŞE-YANSITICI YÖNELTME.....	21
3.1 RADAR KESİT ALANI HESABI	21
3.2 RKA DENKLEMLERİ	23
3.3 KÖŞE-YANSITICI ÜRETİMİ.....	27
3.4 KÖŞE-YANSITICI YÖNELTMESİ	28
3.5 SAR GÖRÜNTÜSÜ ÜZERİNDE GÖRÜNÜR RADAR KESİT ALANI METODOLOJİSİ	32
BÖLÜM 4 RADARGRAMETRİK DİJİTAL YÜZEY MODELİ ÜRETİMİ VE KALİTE ANALİZİ.....	37
4.1 DİJİTAL YÜZEY MODELİ ÜRETİMİ METODOLOJİSİ.....	37
4.2 ÇALIŞMA ALANI VE KÖŞE-YANSITICI DAĞILIMI.....	38
4.3 DİJİTAL YÜZEY MODELİ KALİTE METRİKLERİ.....	40
4.4 RADARGRAMETRİK DİJİTAL YÜZEY MODELİ ÜRETİMİ.....	43
4.4.1 Radargrametrik Dijital Yüzey Modeli Üretimi Elipsoidal Bakış Açısına Yöneltme.....	43
4.4.2 Radargrametrik Dijital Yüzey Modeli Üretimi Görüntüleme Bakış Açısına Yöneltme.....	48
4.4.3 Radargrametrik Dijital Yüzey Modeli Üretimi Lokal Bakış Açısına Yöneltme	52
BÖLÜM 5 DENEYSEL SONUÇLAR	59
5.1 DÜŞEY DOĞRULUK ANALİZİ	63
5.2 YÜKSEKLİK HATA HARİTALARI.....	68
BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
KAYNAKLAR.....	73
EK AÇIKLAMALAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Elektromanyetik spektrum.	6
Şekil 2.2 RAR uydu sistemi.	8
Şekil 2.3 a) Menzil çözünürlüğü b) azimut çözünürlüğü c) piksel çözünürlüğü.	9
Şekil 2.4 SAR geometrik bozulmaları: kısa görüntüleme, örtüşme ve gölge.	10
Şekil 2.5 Kısa görüntüleme geometrisi ve görüntüsü.	10
Şekil 2.6 Örtüşme bozunumu geometrisi ve görüntüsü.	11
Şekil 2.7 Gölge bozunumu geometrisi ve görüntüsü.	12
Şekil 2.8 Sentinel-1 SAR uydusunun veri toplama türleri.	15
Şekil 2.9 Eş-yönlü ve zıt-yönlü stereo geçişlerin görselleri.	17
Şekil 2.10 Radargrametri aynı yönlü uydu alım geometrisi.	18
Şekil 2.11 Çapraz korelasyon prensibi.	19
Şekil 3.1 Hesaplamalı EM yöntemleri.	22
Şekil 3.2 Elektromanyetik analiz tekniklerinin frekansa bağlı çözüm yöntemlerinin dağılımı.	23
Şekil 3.3 R mesafesinde bulunan hedef.	23
Şekil 3.4 Çeşitli hedeflerin RKA'ları.	25
Şekil 3.5 6 adet köşe-yansıtıcı tasarımı.	26
Şekil 3.6 Arazide uygulanabilir köşe-yansıtıcıların RKA grafik gösterimi.	27
Şekil 3.7 Köşe-yansıtıcıların modüler CAD tasarımları.	28
Şekil 3.8 Köşe yansıtıcının uydu geçiş yönüne göre geometrisi.	28
Şekil 3.9 Zonguldak-Bartın çalışma alanını kaplayan Sentinel-1 uydu geçişlerinin yeryüzündeki izi.	29
Şekil 3.10 N2YO web tabanlı uydu takip hizmeti 10 günlük planlı geçiş.	29
Şekil 3.11 Sentinel-1A Geçiş 26 Aralık tarihli Yükselen yörünge parametreleri.	30
Şekil 3.12 a) Köşe-yansıtıcı arazi denemesi sonucundaki Kozlu sahil uydu görüntüsü b) diğer çalışmalardan 1.5 metrelik köşe yansıtıcı görüntüsü.	31
Şekil 3.13 Görünür RKA hesaplama metodolojisi.	33
Şekil 3.14 87 yükselen SAR görüntüsü a) köşe yansıtıcı yerleştirilmeden önce b) köşe yansıtıcı yerleştirildikten sonra c) köşe yansıtıcı öncesi ve sonrası arasındaki fark d) Görünür RCS profili.	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
Şekil 3.15 87 yükselen SAR görüntüsü a) köşe yansıtıcı yerleştirilmeden önce b) köşe yansıtıcı yerleştirildikten sonra c) köşe yansıtıcı öncesi ve sonrası arasındaki fark d) Görünür RCS profili.....	35
Şekil 4.1 Radargrametrik DYM üretimi işlem adımları.....	38
Şekil 4.2 Zonguldak-Bartın çalışma alanı ve istasyon ağı.	39
Şekil 4.3 7 adet köşe-yansıtıcı istasyon olarak dağılımı.	39
Şekil 4.4 7 adet istasyona ait kurulum sonrası görüntüleri.	40
Şekil 4.5 Elipsoidal bakış açısına göre hesaplanmış yansıtım modeli.	44
Şekil 4.6 KY Kara istasyonu geri saçılma değerleri.	44
Şekil 4.7 KY Kost istasyonu geri saçılma değerleri.....	45
Şekil 4.8 KY Sapça istasyonu geri saçılma değerleri.....	45
Şekil 4.9 KY MYO istasyonu geri saçılma değerleri.....	46
Şekil 4.10 KY Sefercik istasyonu geri saçılma değerleri.....	46
Şekil 4.11 KY BARÜ istasyonu geri saçılma değerleri.....	47
Şekil 4.12 KY Kozcağz istasyonu geri saçılma değerleri.....	47
Şekil 4.13 Elipsoidal bakışa göre KY yöneltmesi sonucu elde edilen DYM.....	48
Şekil 4.14 KY BARÜ istasyonu geri saçılma değerleri.....	49
Şekil 4.15 KY Kocağz istasyonu geri saçılma değerleri.....	49
Şekil 4.16 KY Kösterit istasyonu geri saçılma değerleri.....	50
Şekil 4.17 KY Çaycuma MYO istasyonu geri saçılma değerleri.....	50
Şekil 4.18 KY Sapça istasyonu geri saçılma değerleri.....	51
Şekil 4.19 KY Sefercik istasyonu geri saçılma değerleri.....	51
Şekil 4.20 KY Kara istasyonu geri saçılma değerleri.....	52
Şekil 4.21 Almanak paylaşılan bakışa göre KY yöneltmesi sonucu elde edilen DYM.....	52
Şekil 4.22 Lokal bakış açısına göre hesaplanmış yansıtım modeli.....	53
Şekil 4.23 KY Kösterit istasyonu geri saçılma değerleri.....	53
Şekil 4.24 KY Kara istasyonu geri saçılma değerleri.....	54
Şekil 4.25 KY BARÜ istasyonu geri saçılma değerleri.....	54
Şekil 4.26 KY Kozcağz istasyonu geri saçılma değerleri.....	55
Şekil 4.27 KY Sefercik istasyonu geri saçılma değerleri.....	55
Şekil 4.28 KY Sapça istasyonu geri saçılma değerleri.....	56
Şekil 4.29 KY Çaycuma MYO istasyonu geri saçılma değerleri.....	56
Şekil 4.30 Lokal bakışa göre KY yöneltmesi sonucu elde edilen DYM.....	57
Şekil 5.1 Fotogrametrik DYM 5m (seviye 0 SYM5).....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.2 AW3D 30 Global DEM.	60
Şekil 5.3 TDM 12 DYM.	61
Şekil 5.4 Radargrametrik DYM 1 alt çerçeve.	61
Şekil 5.5 Radargrametrik DYM 2 alt çerçeve.	62
Şekil 5.6 Radargrametrik DYM 3 alt çerçeve.	62
Şekil 5.7 Radargrametrik DYM1 için hataların frekans dağılımı, standart sapması ve NMMS	63
Şekil 5.8 Radargrametrik DYM2 için hataların frekans dağılımı, standart sapması ve NMMS	64
Şekil 5.9 Radargrametrik DYM3 için hataların frekans dağılımı, standart sapması ve NMMS	65
Şekil 5.10 AW3D 30 için hataların frekans dağılımı, standart sapması ve NMMS	65
Şekil 5.11 TDM 12 için hataların frekans dağılımı, standart sapması ve NMMS.	66
Şekil 5.12 Yükseklik hata dağılım haritaları	68



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Sentinel-1A'nın özellikleri.	13
Çizelge 2.2 Sentinel-1 SAR uydusunun veri toplama türlerinin teknik görüntü özellikleri. ...	16
Çizelge 3.1 Çalışma alanı geneline dağıtılacak olan sekiz adet köşe-yansıtıcının dağılımı. ...	27
Çizelge 3.2 Heaven-above websitesinin bir geçiş içerikli bilgileri.....	30
Çizelge 3.3 Fark RKA değerleri.....	35
Çizelge 5.1 Radargrametrik yöntemleriyle oluşturulan modellerin yatay ötelemeleri.	63
Çizelge 5.2 Radargrametrik yöntemle üretilmiş DYM'ler, AW3D ve TDM12 modellerinin düşey doğrulukları.	67



EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
EK A: Saha Uygulamaları.....	77
EK B: Radar Kesit Alanı Uygulamaları	79
EK C: Köşe-Yansıtıcı Üretim Maliyet Çizelgesi	89





SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

ρ	: Çapraz korelasyon katsayısı
Δ	: Bakış Açısı
σ	: Radar Kesit Alanı
ψ	: Uydu Sinyal Açısı
α	: Azimut Açısı
β	: Eğim Açısı
θ	: Off Nadir Açısı
β_0	: Beta Nought

KISALTMALAR

AW3D	: ALOS World 3 Dimension
ALOS	: Advanced Land Observing Satellite
CEOS	: Kanada Yer Gözlem Uyduları Komitesi
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
DYM	: Dijital Yüzey Modeli
dBsm	: Desibel metrekaare
GIS	: Geographic Information Systems
GO	: Geometrik Optik
FDTD	: Sonlu Farklar Zaman Alanı
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
IW	: Interferometric Wide
JAXA	: Japonya Uzay Ajansı
MAD	: Medyan Mutlak Sapma

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

MoM	: Yüzey integral denklemine Momentler Yöntemi
NMMS	: Normalleştirilmiş Medyan Mutlak Sapma
RADAR	: Radio Detection and Ranging
RAR	: Gerçek Açıklıklı Radar
RKA	: Radar Kesit Alanı
PO	: Fiziksel Optik
KOH	: Karesel Ortalama Hata
KY	: Köşe Yansıtıcı
SAR	: Yapay Açıklıklı Radar
SM	: Stripmap
SRTM	: Shuttle Radar Topography Mission
STD	: Standard Sapma
TDM12	: Tandem-X 12 m. Küresel Model
TOPSAR	: Terrain Observation with Progressive Scans SAR
UTM	: Universal Transverse Mercator
YKN	: Yer Kontrol Noktaları
3B	: Üç Boyutlu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnterferometri ve radargrametri günümüz yapay açıklıklı radar (SAR) teknolojisinin iki temel dijital yüzey modeli (DYM) üretim tekniğidir. Bu teknikler içerisinde interferometri, saha çalışması gerektirmediğinden oldukça sık tercih edilmekle beraber tekniği kullanan bilim insanlarının en büyük problemi interferometriye uygun görüntü çifti bulmanın oldukça zor oluşudur. Öyle ki bazı durumlarda yukarıda da belirtildiği gibi birçok aday çift içerisinde interferometriye uygun tek bir çift dahi çıkmayabilir. Bu durum, yüksek fiyatlarda olan özellikle yüksek çözünürlüklü SAR uydu görüntülerini sipariş ederken her zaman soru işaretlerine sebep olan çok önemli bir husustur. Radargrametri ise bindirmeli her SAR görüntü çiftinden DYM üretimine olanak veren ancak saha çalışması gerektiren bir yöntemdir. Hedef alanda köşe-yansıtıcılar ile yer kontrol noktası (YKN) ağı oluşturulur ve bu ağ radargrametrik yöneltmede kullanılır. Ancak bu ağın her seferinde oluşturulma şartı yoktur. Uygun geometriler belirlenebildiğinde köşe-yansıtıcılar sahada sabitlenerek SAR uydusunun her geçişinde kullanılabilirler.

1.1 MOTİVASYON

Çalışmanın temel hedefi yapay açıklıklı radar (SAR) görüntülerinin radargrametrik yöneltmesi ve dijital yüzey modeli (DYM) üretimi için en optimal köşe-yansıtıcı geometrisini oluşturabilmektir. Burada köşe-yansıtıcı geometrisi başlığı iki ana alt bileşeni kapsamaktadır. Bunlardan ilki köşe-yansıtıcının kendi iç geometrisi yani belirlenecek şekli ve ebatlarıdır. Köşe-yansıtıcılar uygulama hedefleri doğrultusunda çok çeşitli şekil ve ebatlarda olabilirler. Radargrametri çalışmalarında köşe-yansıtıcı ebatları SAR uydusunun kullandığı mikrodalga bandının frekans aralığına göre değişiklik göstermektedir.

İkincisi ise konumlama geometrisi yani uydunun bakış açısı, eğim açısı, depresyon açısı, SAR antenlerinin algılama sırasında arasındaki deklinasyon açısı vb. göz önünde bulundurularak en

yüksek verimi sağlamaktır. Köşe-yansıtıcının kendi iç geometrisi ne kadar düzgün olursa olsun uyduya bakışında yani konumlandırılmasında geometrik bir sıkıntı varsa köşe-yansıtıcıdan verim almak mümkün olmayacaktır. Konumlandırma geometrisindeki hata SAR görüntüsünde ya köşe-yansıtıcısının fark edilemeyecek kadar sönük kalmasına ya da fazla sayıda pikselin spektral değerini etkileyecek şekilde aşırı parlamasına sebep olmaktadır. Bazı durumlarda da konumlandırma hatası nedeniyle köşe-yansıtıcısı görüntü üzerinde lineer bir hatta parlamalara sebep olmaktadır. Tüm bu hallerde, yer kontrol noktası (YKN) vazifesi yapacak köşe-yansıtıcısı üzerine doğru şekilde basılarak yöneltme yapılamayacaktır. Ana hedef köşe-yansıtıcısının yansıttığı sinyallerin oluşturduğu spektral parlamanın hedef sayı ve geometride pikselleri aydınlatması ve bu pikseller içerisinde merkez pikselin tespit edilerek YKN olarak işaretlenmesidir.

Bahsedilen iki ana geometri bileşeni hassas şekilde doğrulanarak hangi SAR görüntü çözünürlüğünde hangi tip köşe-yansıtıcısının hangi iç geometri ve konumlama geometrisinde uygulanması gerektiği sonucu elde edilmiş olacaktır. Bu sayede, mevcut ve gelecekteki tüm SAR uydu misyonlarından en yüksek geometrik yöneltme doğruluğu ile en yüksek kalitede DYM'ler üretilebilecektir. Radargrametrik DYM ihtiyacı InSAR DYM üretiminde uyumlu çiftlerin bulunmasının zorluğunu aşacak ve bindirmeli bütün görüntülerden DYM üretimi gerçekleştirebilecektir.

1.2 ÇALIŞMANIN LİTERATÜRDEKİ YERİ VE ÖNEMİ

Çalışmanın Avusturya, Grazda bulunan Joanneum Research kurumu, Kanada Yer Gözlem Uyduları Komitesi (CEOS), İsveç KTH Üniversitesi vb. çok sayıda kurum uzun yıllardır radargrametri ve köşe-yansıtıcılar üzerinde çalışmaktadır. Hennig ve arkadaşları, Burgau Avusturyada gerçekleştirdikleri çalışmalarında, TerraSAR-X spotlight mode görüntülerinden radargrametrik dijital yüzey modeller üretmiş ve değerlendirmişlerdir (Hennig vd. 2010). Schmidt ve arkadaşları, Almanya'da gerçekleştirdikleri çalışmalarında, güncel Sentinel-1A ve 1B uydu görüntülerinin geometrik doğruluklarını köşe-yansıtıcılar ile belirlemeye çalışmışlardır (Schmidt vd. 2018). Yu ve arkadaşları Avustralyada, Crosetto ve Aragues ise İspanya Güney Katalonyada gerçekleştirdikleri çalışmalarında radargrametrinin interferometriye göre DYM üretiminde avantaj ve dezavantajlarını araştırmışlardır (Crosetto ve Pérez 2000; Yu vd. 2014). Toutin ve arkadaşları, Kanada'nın kutup bölgelerini stereo-radargrametri ile modellemeye çalışmışlardır (Toutin vd. 2013). Garthwaite ve arkadaşları 2015

yılında yayınladıkları teknik raporda Avustralya'nın jeofiziksel gözlem altyapısını oluşturmak için köşe-yansıtıcı ağı dizayn etmişlerdir (Garthwaite vd. 2015). Crespi ve arkadaşları, İtalya'da gerçekleştirdikleri araştırmada, TerraSAR-X ve Cosmo-SkyMed uydu görüntülerinin radargrametrik yönelmesi üzerine çalışmışlardır (Capaldo vd. 2012).

Ülkemizde ise henüz hem yerli bir radar uydu misyonu olmadığından hem de radar uzaktan algılama konusu gelişmiş ülkelerdeki kadar yoğun çalışılmadığından bu konu yeterli düzeyde irdelenmemiştir. İncelenen literatürde ülke içinde herhangi bir çalışma yapıldığına rastlanmamıştır. Çalışma içeriğinde köşe-yansıtıcı geometrisi teorik ve pratikte incelenerek, test alanına rasyonel şekilde dağıtılıp gerekli arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu yönüyle proje, ülkemizde radargrametride köşe-yansıtıcı geometrisi alanında gerçekleştirilmiş kapsamlı ilk çalışma olacaktır.

1.3 ÇALIŞMANIN YAPISI

Çalışma, belirlenen hedefler doğrultusunda oluşturulmuş altı bölümden ibarettir. İkinci bölümde, yapay açıklıklı radar (SAR) teknolojisinin temelleri ve stereo-radargrametri konuları ele alınmaktadır. SAR'ın nasıl çalıştığı, prensipleri ve stereo-radargrametri yönteminin ne olduğu gibi temel kavramlar bu bölümde açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, radar kesit alanı ve köşe-yansıtıcı yönelme konuları ele alınmaktadır. Radar kesit alanının ne olduğu, nasıl hesaplandığı ve köşe-yansıtıcı yönelmenin SAR görüntülerinde nasıl kullanıldığı bu bölümde tartışılmaktadır. Dördüncü bölümde ise radargrametrik dijital yüzey modeli üretimi ve kalite analizi incelenmektedir. Bu bölümde, radargrametrik dijital yüzey modellerinin nasıl oluşturulduğu ve elde edilen sonuçların nasıl analiz edildiği konuları ele alınmaktadır. Ayrıca, bu modellerin düşey doğruluğunun nasıl değerlendirileceği de bu bölümde tartışılmaktadır. Beşinci bölümde, özellikle radargrametrik dijital yüzey modellerinin düşey doğruluğunun nasıl değerlendirileceği üzerine odaklanılmaktadır. Düşey doğruluk analizinde kullanılan metodolojiler ve değerlendirme kriterleri ele alınmaktadır. Altıncı bölümde radargrametrik olarak üretilmiş dijital yüzey modellerinin sonuçları ve önerileri ortaya çıkmıştır.



BÖLÜM 2

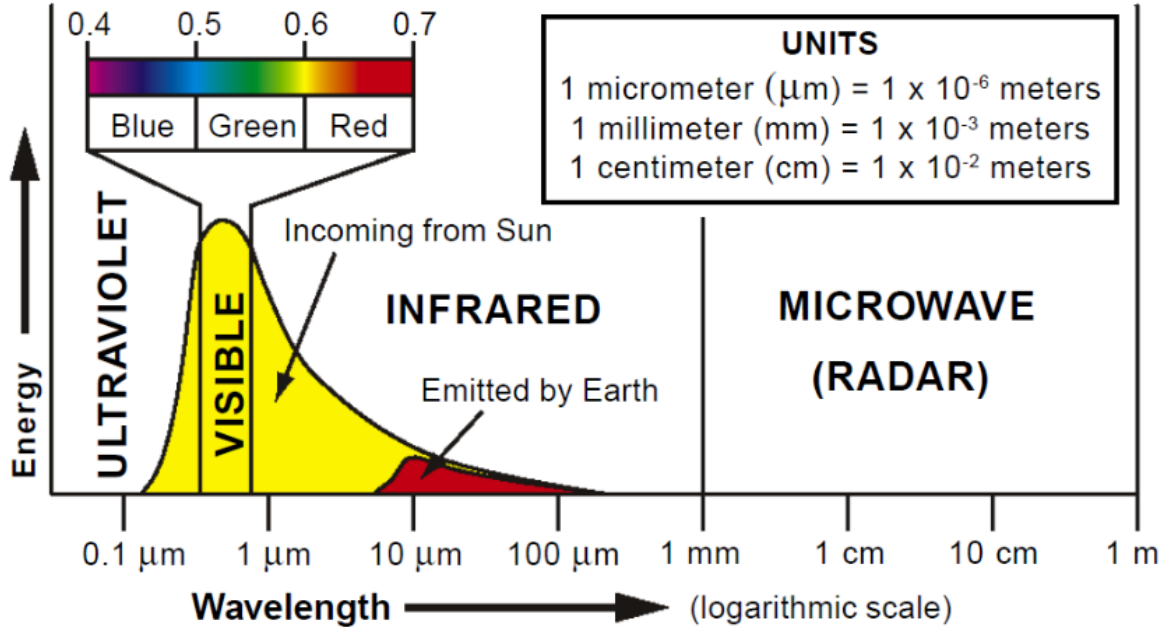
YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (SAR) TEMELLERİ VE STEREO-RADARGRAMETRİ

Bu bölümde, radar uzaktan algılamasının anlaşılması için radar sistemi, SAR sensör özellikleri ve görüntü oluşumu ve radargrametri işleme ve SAR görüntülerinden SYM üretimi açıklanacaktır.

2.1 YAPAY AÇIKLIKLI RADAR (SAR)

Uzaktan algılama, gözlemlenen nesne ile fiziksel temas halinde olmayan sensörleri kullanarak uzaktan bilgi elde etme ve yorumlama bilimidir (Acharki vd. 2024). En geniş anlamıyla uzaktan algılama bilimi, güneş sistemimizdeki gezegenlerin yüzeylerinin ve atmosferlerinin hava, uydu ve uzay aracı gözlemlerini içerir, ancak Dünya açıkça en sık çalışma hedefidir. Bu terim Şekil 2.1’de geleneksel olarak elektromanyetik enerjiyi tespit eden ve ölçen yöntemlerle sınırlıdır.

Havadan veya uydu sensörleri tarafından elde edilen görüntüler, arazi yüzeyindeki doğal ve insan yapımı özelliklerin haritalanması ve izlenmesi için önemli bir bilgi kaynağı sağlar. Bir görüntünün veya görüntü kümesinin konumsal, spektral ve zamansal bileşenlerinin tümü, yüzey malzemeleri ve koşulları hakkında yorumlar oluşturmak için kullanabileceğimiz bilgiler sağlar (Reinartz vd. 2010). Bu özelliklerin her biri için sensör sistemi tarafından üretilen görüntülerin çözünürlüğünü tanımlayabiliriz. Bu görüntü çözünürlüğü faktörleri, uzaktan algılanan görüntülerden elde edebileceğimiz bilgilere sınırlar koyar.



Şekil 2.1 Elektromanyetik spektrum.

Konumsal çözünürlük, sensörün tasarımının ve yüzey üzerindeki çalışma yüksekliğinin bir fonksiyonu olan görüntüdeki konumsal detayın bir ölçüsüdür. Bir uzaktan kumanda sensöründeki dedektörlerin her biri yer yüzeyinin sınırlı bir parçasından alınan enerjiyi ölçer. Bu münferit yamalar ne kadar küçük olursa, görüntüden yorumlayabileceğimiz uzamsal bilgi de o kadar ayrıntılı olacaktır (Berra vd. 2015). Dijital görüntüler için konumsal çözünürlük en yaygın olarak bir görüntü hücresinin zemin boyutları olarak ifade edilir.

Bir uzaktan algılama sisteminin spektral çözünürlüğü, ölçülen dalga boyları aralığının farklı kısımlarını ayırt etme yeteneği olarak tanımlanabilir. Özünde bu, ölçülen dalga boyu aralıklarının (bantlarının) sayısı ve her aralığın ne kadar dar olduğu anlamına gelir. Bir sensör sistemi tarafından üretilen bir 'görüntü' çok geniş bir dalga boyu bandından, birkaç geniş banttan veya birçok dar dalga boyu bandından oluşabilir (Guerra vd. 2018). Bu üç görüntü kategorisi için genellikle kullanılan isimler sırasıyla pankromatik, multispektral ve hiperspektraldir.

Dünya'nın yüzey ortamı dinamiktir ve saniyelerden on yıllara veya daha uzun sürelerle kadar değişen zaman ölçeklerinde değişim meydana gelir. Hem doğal ekosistemleri hem de mahsulleri etkileyen bitki büyümesinin mevsimsel döngüsü önemli bir örnektir. Büyüme mevsimi boyunca aynı alanın görüntülerinin tekrarlanması, bitki veya mahsul türlerini tanıma ve ayırt etme becerimize katkıda bulunur (Yang vd. 2015; Acharki vd. 2024). Bir zaman serisi

görüntü, diğer doğal süreçler veya insan faaliyetleri nedeniyle yüzey özelliklerindeki değişiklikleri izlemek için de kullanılabilir. Böyle bir seride birbirini takip eden görüntüleri ayıran zaman aralığı, görüntü dizisinin zamansal çözünürlüğünü tanımlamak için düşünülebilir (Manjunath 2016).

Optik uzaktan algılama ile karşılaştırıldığında, radar uzaktan algılama bazı avantajlar sunar:

- tüm hava koşullarına uygunluk (düşük bulutluluk hassasiyeti, hafif yağmur)
- gündüz ve gece çalışması (güneş aydınlatmasından bağımsız, yani aktif sistem)
- atmosferik bileşenlerin etkisi yok (çok zamanlı analiz)
- yüzey pürüzlülüğüne (okyanus rüzgar hızı) ve dielektrik özelliklere (su içeriği, biyokütle, buz) duyarlılık
- doğru mesafe ölçümleri (interferometri)
- insan yapımı nesnelere karşı duyarlılık
- yüzey penetrasyonu

ve bazı zorluklar, gibi:

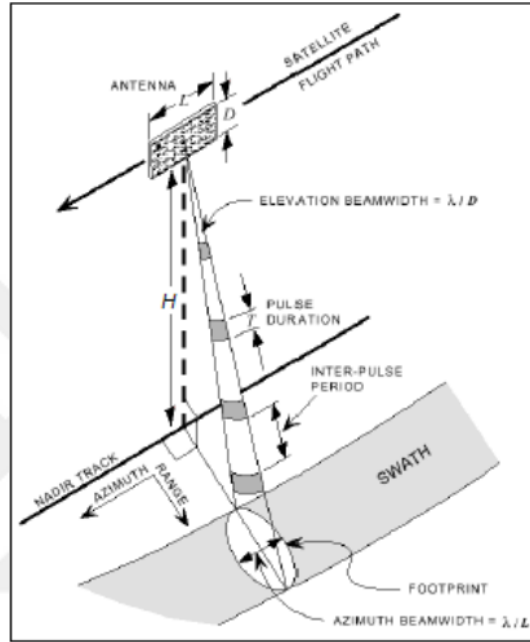
- karmaşık etkileşimler (anlama güçlüğü, karmaşık işleme)
- benek gürültüsü etkileri;
- yüzey pürüzlülüğünün bozulması.

2.1.1 SAR Sisteminin Temel İlkeleri

Görüntüleme radarı bir aktif aydınlatma sistemidir. Bir platforma monte edilmiş bir anten, bir radar işaretini Dünya yüzeyine doğru yandan bakacak şekilde gönderir. Yankı olarak bilinen yansıyan sinyal yüzeyden geri saçılır ve aynı antenden bir saniye sonra alınır (monostatik radar).

SAR gibi uyumlu radar sistemlerinde, alınan yankının genliği ve fazı (odaklanma işlemi sırasında görüntüyü oluşturmak için kullanılır) kaydedilir. Açıklık, bir görüntü oluşturmak için kullanılan yansıyan enerjiyi toplamak için kullanılan açıklık anlamına gelir. Radar görüntüleme durumunda bu bir antendir. RAR (Real Aperture Radar) sistemlerinde her bir yankı dönüşünün sadece genliği ölçülür ve işlenir. RAR'ın uzaysal çözünürlüğü öncelikle kullanılan antenin boyutuna göre belirlenir: anten ne kadar büyükse uzaysal çözünürlük o kadar iyi olur. Konumsal çözünürlük yönleri göre tanımlanabilir: Şekil 2.2'de görülebileceği gibi uzay aracının uçuş

yoluna dik olan eğik menzil yönü ve uzay aracının uçuş yoluna paralel olan azimut yönüdür. Menzili radardan saçıcıya olan uzaklık olarak tanımladığımızda, eğik menzilin görüntüdeki boyut olduğunu, yer menziline ise yer boyunca olan boyuttan farklı olduğunu unutmayın. Bir diğer önemli unsur, antenin eğimi ile nadir arasındaki dikey açı olarak tanımlanan bakış açısıdır (ya da nadir dışı açısı). Bakış açısı, görüntünün uçuş yoluna en yakın kısmı (yakın menzile) için en diktir ve uzak menzile doğru azalır.



Şekil 2.2 RAR uydu sistemi.

Azimut çözünürlüğü $\Delta\alpha$ Şekil 2.3a daki gibi tanımlanır.

$$\Delta\alpha = \frac{R\lambda}{L} \quad (2.1)$$

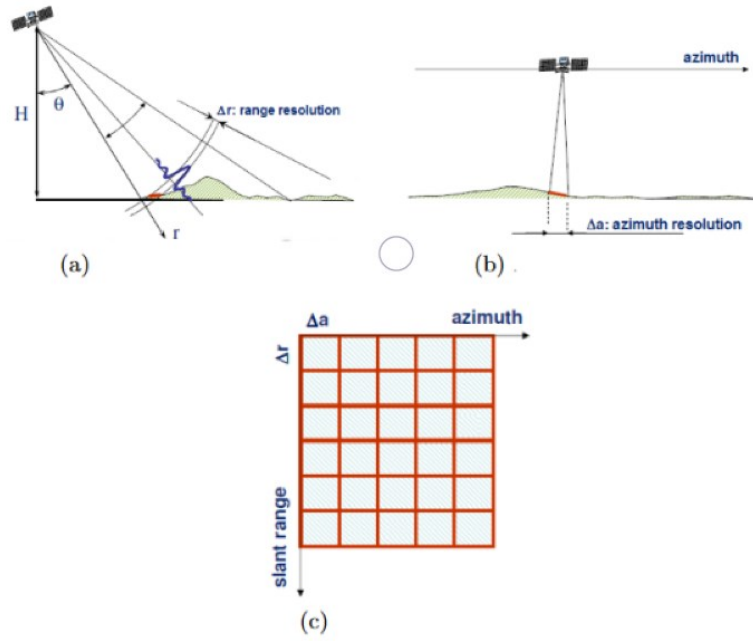
R eğik mesafedir, λ mikrodalganın dalga boyu ve L radar anteninin açıklık uzunluğudur.

Menzil çözünürlüğü Δr Şekil 2.3a olarak tanımlanır:

$$\Delta r = \frac{C\tau}{2} \quad (2.2)$$

C ışık hızı, τ sinyal süresidir.

Azimut çözünürlüğü uzay aracının yüksekliğinden (H) bağımsızdır ve anten uzunluğu (L) azaldıkça çözünürlük artar. Şekil 2.3c radar görüntüsü gridinin, her pikselin bir çözünürlük hücresi ile ilişkilendirildiği bir piksel matrisi ile düzenlenir.



Şekil 2.3 a) Menzil çözünürlüğü b) azimut çözünürlüğü c) piksel çözünürlüğü.

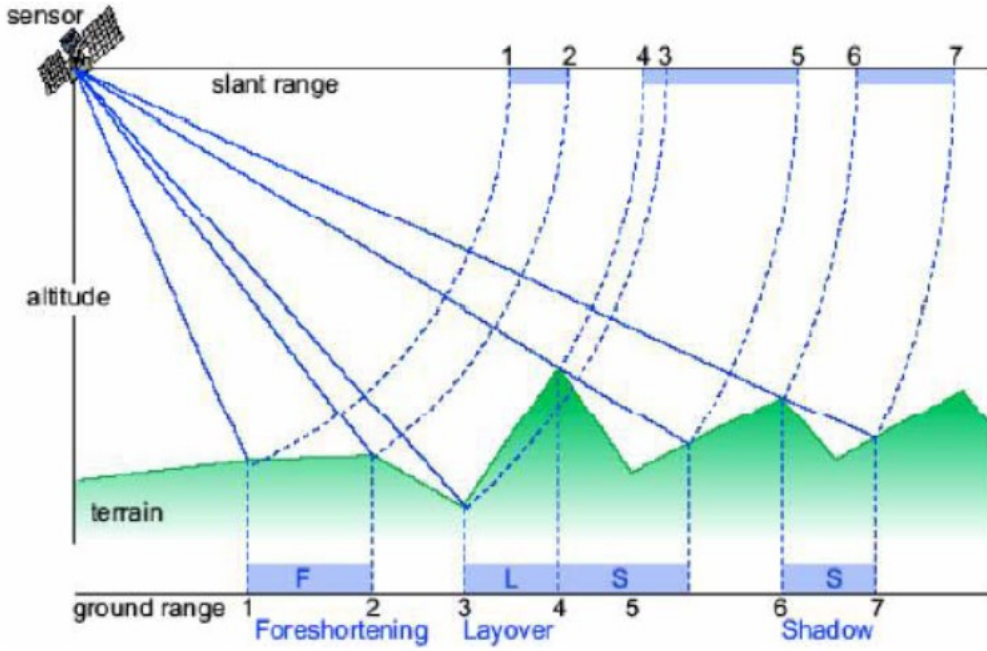
SAR görüntüsünün her pikseli, çözünürlük hücresindeki tüm nesnelerden radara doğru geri saçılan sinyallerin toplamını tutar. Radar tarafından alınan sinyal yoğunluğu çözünürlük hücresindeki nesneye bağlıdır, örneğin kentsel veya kayalık alanlar yüksek yoğunluğa (beyaz piksel), bitki örtülü alanlar orta yoğunluğa (gri piksel) ve pürüzsüz alanlar (sakin su havzaları gibi) düşük yoğunluğa (siyah piksel) sahiptir.

İşlendikten sonra, SAR görüntüsünün her pikseli sadece gri değeri (yani genlik görüntüsü) değil, aynı zamanda radar eğim aralığı ile ilgili faz değerini de içerir. Bu iki bileşen karmaşık bir sayı ile ifade edilebilir. Bu nedenle SAR görüntüsü radar karmaşık görüntüsü olarak da adlandırılabilir. Kullanılan bilgiye bağlı olarak iki teknik vardır. Faz verilerine dayanan interferometrik SAR ve genlik verilerine dayanan radargrametrik SAR. İki teknik arasındaki temel fark, radargrammetrinin iki görüntüdeki aynı yer hedeflerinin konum eşleşmesini kullanarak görüntü aralığı kaymasını hesaplaması, InSAR'ın ise iki görüntünün faz farkını hesaplamasıdır.

2.1.2 SAR Sisteminin Distorsiyonları

SAR sistemi, hedeflerin menzil yönünde birbirlerine göre nerede olduklarını belirlemek için bir darbenin gönderilmesi ve alınması arasındaki zaman gecikmesini ölçer. Sonuç olarak, SAR sistemleri menzil tabanlıdır. Bu durum, Şekil 2.4'te görüleceği gibi kabartma yer

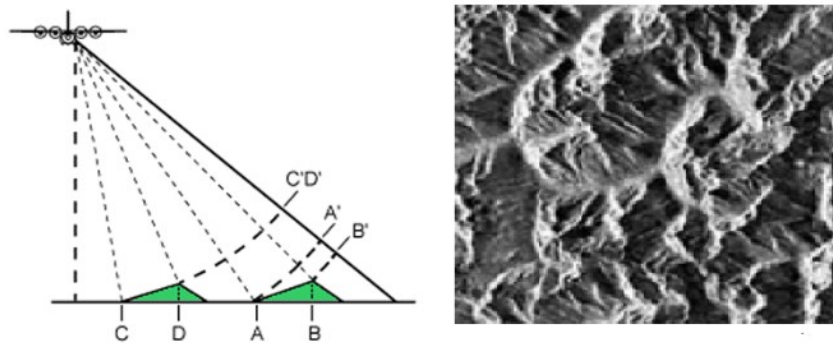
değiştirmesinden kaynaklanan kısa görüntüleme, örtüşme, gölge gibi radar görüntülerinin güvenilirliğini azaltan geometrik bozulmalara neden olur.



Şekil 2.4 SAR geometrik bozulmaları: kısa görüntüleme, örtüşme ve gölge.

2.1.2.1 Kısa görüntüleme

Muhtemelen SAR görüntülerindeki en çarpıcı özellik menzil yönündeki geometri etkileridir. Bu etki SAR görüntüleme prensibinden kaynaklanır: optik sistemlerin yaptığı gibi açılar değil, sinyal seyir süresini ölçmek. İki farklı noktadan alınan radar yankıları arasındaki zaman gecikmesi, bunların görüntüdeki göreceli uzaklıklarını belirler. Şekil 2.5'de taslağı çizilen dağı düşünün.



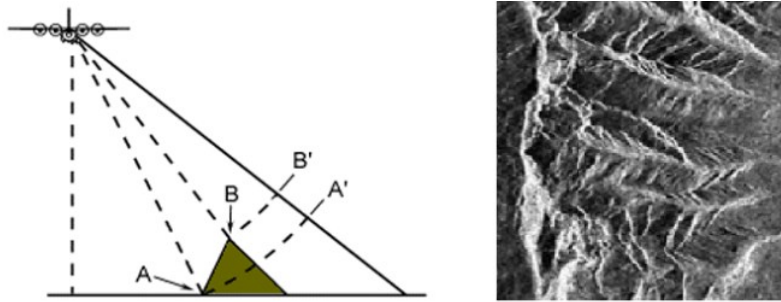
Şekil 2.5 Kısa görüntüleme geometrisi ve görüntüsü.

A, B ve C noktaları yere düşey olarak yansıtıldığında (geleneksel haritacılıkta olduğu gibi) eşit aralıktır. Ancak, dağın tepesi SAR sensörüne nispeten yakın olduğu için A'B' mesafesi AB'ye kıyasla önemli ölçüde kısalmıştır. Ayrıca BC'nin, B'C'ye dönüşen arka eğimin sonuç olarak gerildiğine dikkat edin. Kısa görüntüleme, dağlık alanların SAR görüntülerinde baskın bir etkidir. Özellikle dik görünümlü uzay kaynaklı sensörler söz konusu olduğunda, dağların eteklerinde bulunan iki nokta arasındaki yol boyu eğim-menzil farkları düz alanlarda olacağından daha küçüktür. Bu etki, yamacın ön kısımlarından geri saçılan radyometrik bilginin yol boyunca sıkışmasına neden olur ve bir arazi modeli mevcutsa coğrafi kodlama işlemi sırasında telafi edilebilir.

Kısa görüntüleme, dağların sensöre doğru "eğildiği" dağlık alanlarda (sol üst köşe) belirgindir. Kısaltma etkileri yakın menzilde (gönderici ve alıcıya daha yakın) en büyüktür ve uzak menzilde daha az belirgindir. Açık renkli kenarlar radar sistemine bakan yamaçlardır. Dar parlak yamaçlar (AB) yakın menzilde artan sıkıştırmayı gösterir.

2.1.2.2 Örtüşme

Çok dik bir eğim söz konusu olduğunda, dağların vadi noktalarındaki hedefler dağın tepesinden daha geniş bir eğim aralığına sahipse, ön eğim eğim aralığı görüntüsünde tersine çevrilir. Şekil 2.6 gösterildiği gibi geometrik ve görüntüsü.



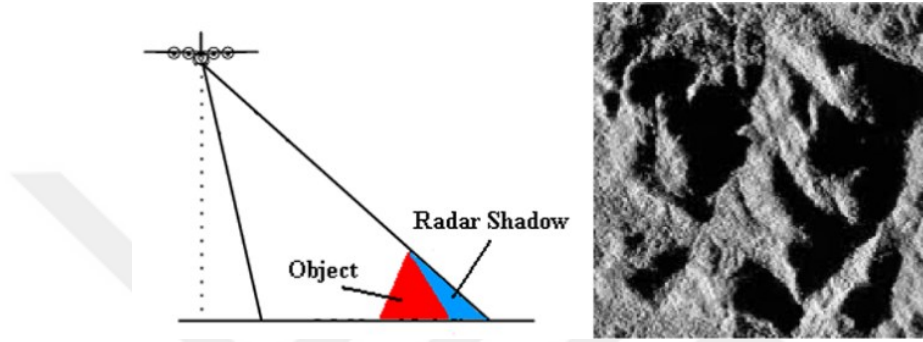
Şekil 2.6 Örtüşme bozunumu geometrisi ve görüntüsü.

Bu olguya "örtüşme" (layover) denir: radar görüntüsü üzerindeki yüzey elemanlarının sıralanışı yerdeki sıralanışın tersidir. Genel olarak, radar ışığına bakan bu duraklama bölgeleri, düşük geliş açısı nedeniyle görüntüde parlak özellikler olarak görünür. Aynı eğim mesafesine sahip olmaları durumunda, vadide ve dağın ön yamacında vurulan hedefler arasında belirsizlik oluşur. Dik geliş açıları için bu, arka yamaçtaki hedefleri de içerebilir. Coğrafi çözümleme, yerdeki

birkaç noktanın görüntüde tek bir nokta ile temsil edilmesi nedeniyle belirsizlikleri çözemez; bu bölgeler coğrafi olarak kodlanmış görüntüde de parlak görünür.

2.1.2.3 Gölge

Radar aydınlatmasından uzakta, sensörün alçalma açısından daha dik bir açıyla yapılan bir eğim radar gölgelerine neden olur. Şekil 2.7’de gölge etkisi ve geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Gölge bozunumu geometrisi ve görüntüsü.

Gölge bölgeler karanlık (sıfır sinyal) olarak görünür ve sadece sistem gürültüsü, sidelobes ve normalde küçük öneme sahip diğer etkilerden kaynaklanan herhangi bir değişiklik olur. Aynı yükseklikteki iki nesnenin radar gölgelerinin uzak menzilde yakın menzile göre daha uzun olduğu da unutulmamalıdır.

2.2 SENTİNEL-1 UYDUSUNUN ÖZELLİKLERİ

Sentinel-1A, Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından yürütülen Copernicus programının bir parçası olarak geliştirilen bir yer gözlem uydusudur. Soyuz Fregat roketi ile 3 Nisan 2014 tarihinde fırlatılan bu uydunun ana görevi, yeryüzündeki değişiklikleri, özellikle de felaket durumlarını izlemek ve tarım, ormancılık gibi alanlarda kullanılmak üzere yüksek çözünürlüklü sentetik açıklıklı radar (SAR) verileri sağlamaktır.

Çizelge 2.1’de liste olarak verilen bilgilerin içeriği, Sentinel-1A’nın gözlem frekansı 5.405 GHz’dir ve C-band sentetik açıklıklı radar teknolojisi kullanır. Uydunun gözlem modları, yüksek çözünürlüklü interferometrik mod ve geniş alan modunu içerir. İnterferometrik mod,

yüksek detaylı yüzey değişikliklerini incelemek için kullanılırken, geniş alan modu daha geniş coğrafi alanları kapsamak için uygundur.

Uydunun yörünge tipi polar yörüngedir ve yüksekliği 693 km'dir. Bu özellik, uydunun dünya genelindeki değişiklikleri etkili bir şekilde gözlemlemesine olanak tanır. Sentinel-1A'nın verileri tarım izleme, ormancılık yönetimi, afet yönetimi ve deniz gözlemi gibi çeşitli uygulama alanlarına yönelik olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, Sentinel-1A'nın verileri ücretsiz olarak dağıtılmakta olup, açık veri politikasıyla geniş bir kullanıcı kitlesine erişim sağlamaktadır.

Çizelge 2.1 Sentinel-1A'nın özellikleri.

Özellik	Açıklama
Uydu Adı	Sentinel-1A
Uydu Türü	Yer Gözlem Uydusu
Uydu Platformu	Sentinel-1
Görev	Uzaktan Algılama, Radara Dayalı Gözlem
Fırlatma Tarihi	3 Nisan 2014
Fırlatma Aracı	Soyuz Fregat
Yörünge Tipi	Polar Yörünge
Yörünge Yüksekliği	693 km
Gözlem Modu	C-Band Sentetik Açıklıklı Radar (SAR)
Gözlem Frekansı	5.405 GHz (Çalışma Frekansı)
Gözlem Çözünürlüğü	5x20 m (İnterferometrik Mod), 20 m (Geniş Alan Modu)
Gözlem Özellikleri	Yer yüzeyini gece ve gündüz gözlemleme yeteneği
Veri Dağıtımı	Ücretsiz ve Açık Veri Politikası
Uygulama Alanları	Tarım, Orman İzleme, Afet Yönetimi, Deniz Gözlemi
Operasyon Sahası	Avrupa ve Dünya Genelinde

23 Aralık 2021'de Copernicus Sentinel-1B uydusu, uydu platformu tarafından sağlanan cihaz elektroniği güç kaynağıyla ilgili bir anormallik yaşadı ve bu da uydunun radar verilerini iletememesine neden olduğu açıklandı. Anomali İnceleme Kurulu, uydunun C-bandı sentetik açıklıklı radar anten güç kaynağı ünitesinin radar elektroniklerine güç sağlamak için gerekli olan 28V regüle edilmiş veriyolunu kurtarmanın imkansız olduğu sonucuna vardı. Bununla birlikte, Copernicus Sentinel-1A tamamen çalışır durumdadır ve Sentinel-1C'nin mümkün olan en kısa sürede fırlatılması için planlar yürürlüktedir.

2.2.1 Sentinel-1 Veri Toplama Türleri

Sentinel-1 C-bandı SAR cihazları, tek polarizasyonda (HH veya VV) ve çift polarizasyonda (HH+HV veya VV+VH) çalışmayı destekler, bir iletim zinciri (H veya V'ye değiştirilebilir) ve H ve V polarizasyonu için iki paralel alıcı zinciri aracılığıyla uygulanır. SM, IW ve EW, Şekil 2.8 görselinde ve Çizelge 2.2'den anlaşılacağı üzere, ürünleri tek (HH veya VV) veya çift polarizasyonlu (HH+HV veya VV+VH) olarak mevcuttur. WV yalnızca tek polarizasyonludur (HH veya VV). Birincil çakışma içermeyen yöntemler kara üzerinde VV+VH polarizasyonlu IW ve açık okyanus üzerinde VV polarizasyonlu WV'dir. EW modu öncelikle gemi trafiği, petrol sızıntısı ve deniz buzu izleme dahil olmak üzere geniş alan kıyı izleme için kullanılır. SM modu sadece küçük adalar için ve acil durum yönetimi gibi olağanüstü olaylar için talep üzerine kullanılır. İnterferometrik Geniş Alan Yönetimi modunun tek ana operasyonel mod olması, mevcut hizmet gereksinimlerinin çoğunu karşılar, çatışmaları önler ve yeniden görüntüleme performansını korur, görev planlamasını basitleştirir, operasyonel maliyetleri azaltır ve tutarlı bir uzun vadeli arşiv oluşturur.

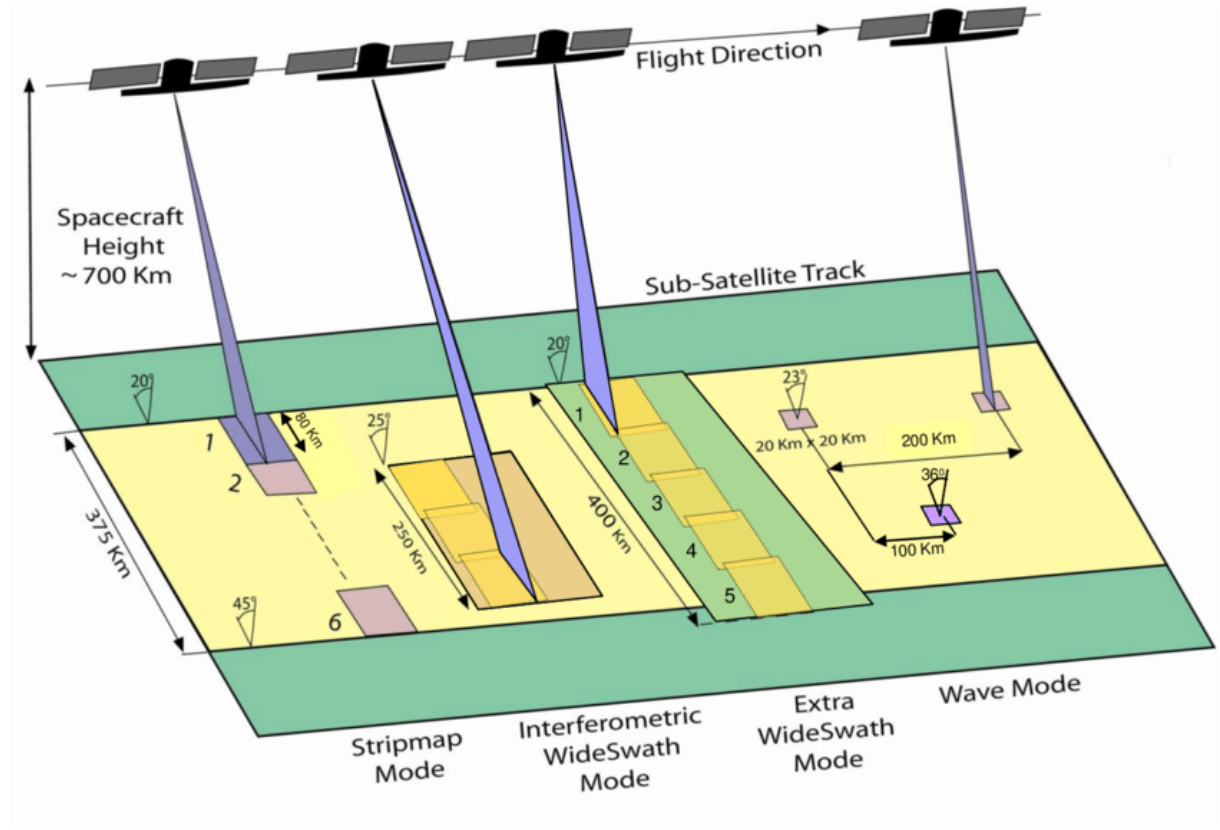
Stripmap (SM) modu, 5 m'ye 5 m'den biraz daha iyi uzamsal çözünürlükte (tek bakış) 80 km'lik bir alanda veri toplar. Anten ışını sabit bir azimut açısına ve yaklaşık olarak sabit bir nadir dışı açiya (bu, yuvarlanma yönlendirmesi nedeniyle küçük değişikliklere tabidir) işaret ederken, zemin alanı sürekli bir dizi darbe ile aydınlatılır. SM görüntüleri yaklaşık olarak sabit bir geliş açısında sürekli bir görüntü kalitesine sahiptir (West 2011).

Interferometric Wide (IW) swath modu, kara üzerindeki ana alım modudur ve hizmet gereksinimlerinin çoğunu karşılar. Bu mod, 5 m'ye 20 m uzamsal çözünürlükte (tek bakış) 250 km'lik bir alanda veri toplar. IW modu, Terrain Observation with Progressive Scans SAR (TOPSAR) kullanarak üç alt swath yakalar. TOPSAR tekniği ile, ScanSAR'da olduğu gibi ışını menzilde yönlendirmenin yanı sıra, ışın aynı zamanda her patlama için azimut yönünde elektronik olarak geriye doğru yönlendirilir, bu da taraklanmayı önler ve alan boyunca homojen görüntü kalitesi sağlar (Wang vd. 2017; Schmidt vd. 2018).

IW moduna benzer şekilde, Ekstra Geniş (EW) swath modu, beş alt swath kullanarak IW moduna göre daha geniş bir alanda veri elde etmek için TOPSAR tekniğini kullanır. EW modu, 20 m'ye 40 m uzamsal çözünürlükte 400 km'lik bir alan üzerinde veri toplar. EW SLC ürünleri, bir EW ürününde toplam beş (tek polarizasyon) veya 10 (çift polarizasyon) görüntü için her alt

dalgalanma ve her polarizasyon kanalı için bir görüntü içerir. EW modu öncelikle deniz buzu üzerinde, kutup bölgelerinde ve belirli deniz alanlarında, özellikle de buz, petrol sızıntısı izleme ve güvenlik hizmetleri için kullanılmak üzere tasarlanmıştır. IW gibi, EW modu da patlama senkronizasyonu, taban çizgisi ve Doppler kararlılığı için aynı özellikleri paylaştığından interferometri için kullanılabilir (Lazecky vd. 2021).

Wave modu, yörünge boyunca her 100 km'de bir 5 m'ye 5 m uzamsal çözünürlükte 20 km'ye 20 km'lik vinyetler halinde iki farklı geliş açısında dönüşümlü olarak veri toplar. Aynı geliş açısındaki vinyetler 200 km ile ayrılır. Yakın menzil ve uzak menzil (sırasıyla yaklaşık 23° ve 36°) arasındaki geliş açıları değişmektedir.



Şekil 2.8 Sentinel-1 SAR uydusunun veri toplama türleri.

Çizelge 2.2 Sentinel-1 SAR uydusunun veri toplama türlerinin teknik görüntü özellikleri.

Veri Toplama	Ürün Türü	Çözünürlük Sınıfı	Çözünürlük Rg x Az [m]	Piksel Boyutu Rg x Az [m]	Bakış Sayısı Rg x Az
SM	SLC	-	1.7x4.3 to 3.6x4.9	1.5x3.6 to 3.1x4.1	1x1
	GRD	FR	9x9	3.5x3.5	2x2
		HR	23x23	10x10	6x6
		MR	84x84	40x40	22x22
IW	SLC	-	2.7x22 to 3.5x22	2.3x14.1	1x1
	GRD	HR	20x22	10x10	5x1
		MR	88x87	40x40	22x5
EW	SLC	-	7.9x43 to 15x43	5.9x19.9	1x1
	GRD	HR	50x50	25x25	3x1
		MR	93x87	40x40	6x2
WV	SLC	-	2.0x4.8 to 3.1x4.8	1.7x4.1 to 2.7x4.1	1x1
	GRD	MR	52x51	25x25	13x13

2.3 STEREO-RADARGRAMETRİ

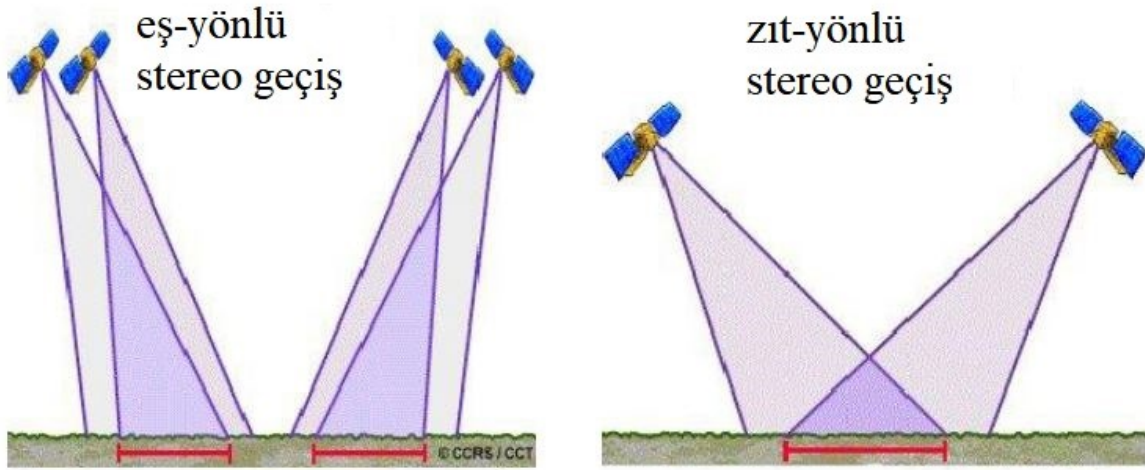
İlk uzay-kaynaklı radargrametrik araştırmaları yaklaşık kırk yıl önce, Apollo Lunar Sounder Experiment (ALSE) tarafından ay yüzeyinin 3D haritalamasıyla başladı (Leberl 1979). Yirmi yıl sonra, radargrametri Magellan misyonu (NASA) sırasında Venüs gezegeninin yüzeyini haritalamak için yeni bir yöntem olarak kullanıldı (Lee 2012). Spaceborne sensörlerinin daha da geliştirilmesi, uygulama alanının genişlemesine izin vererek dağlık alanlarda (Méric vd. 2009, 2011) veya buzul bölgelerinde (Toutin vd. 2013) veya kanopi yükseklik belirlemesi (Perko vd. 2017).

Radargrametri için en az iki SAR alımı gerekir. Bununla birlikte, her iki görüntü de farklı geliş açıları, θ_m ve θ_s ile elde edilir. Her iki alım arasındaki baz mesafesi, B, bahsi geçen kritik interferometrik baz mesafesinden daha uzundur. Sonuç olarak, radargrametrik işleme, yükseklik bilgisini almak için her iki görüntü arasındaki faz farklılıkları dikkate alınmaz. Bunun yerine, P'nin her iki genlik (amplitude) görüntüsündeki temsiller arasında ortaya çıkan paralaks p belirlenir ve değerlendirilir (Şekil 2.10). Bu paralaks, farklı geliş (incidence) açıları, RADAR geometrisi için optik stereoskopiyle aynı prensibi izler.

Radargrametrinin interferometri ile karşılaştırıldığında en önemli avantajlarından biri atmosferik etkilerden daha az etkilenmesidir. Temel olarak, SAR görüntüsü üzerindeki

atmosferik etkiler radargrametride veya InSAR'da aynıdır. Bununla birlikte, radargrametri SAR görüntülerinde genlik (yoğunluk) değerini kullanırken InSAR faz farkını kullanır. Genlik, atmosferik heterojenlikten faza göre daha az etkilenir. Atmosferik bozulma InSAR işlemesi için istenmeyen bir durumdur, ancak radargrametri işlemesi için fazla bir endişe kaynağı değildir. Radargrametri, farklı geliş açılarından elde edilen stereoskopik çiftleri kullanır. Radargrametri ve fotogrametri arasında üç temel fark vardır.

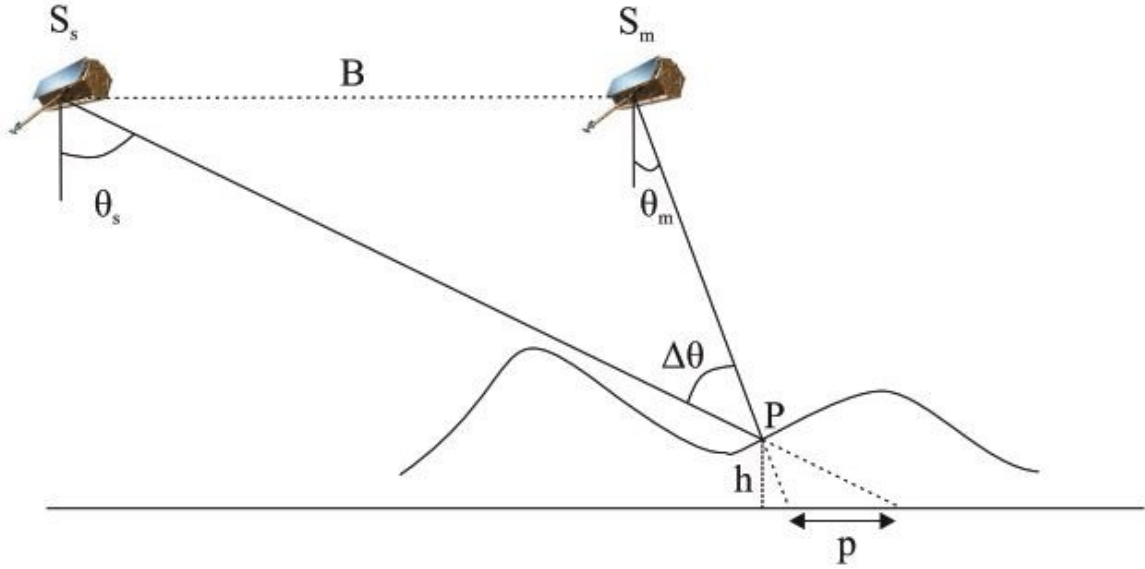
Radar dalga boylarında yüzeyle olan etkileşim etkileri optik dalga boylarındakinden farklıdır. Radar, sensör ile hedef arasındaki mesafeyi ölçer, bu nedenle paralaks optik görüntülerle karşılaştırıldığında ters görünür. Uzun dalga boyları belirli bir optik boyutta zayıf açısal çözünürlüğe neden olur, bu nedenle basit bir platformdan aynı anda yararlı bir stereo tabanı oluşturulamaz. Ayrıca, radargrametri için stereoskopik çiftler, belirli bir sistem yapılandırmasından üretilen geometri ve paralaksın ve yorumlayıcı tarafından görüntü çiftlerinin farkındalığının dikkate alınması gerekir. Hava fotoğraflarında olduğu gibi, SAR ve diğer uydu görüntü çiftleri, görüntünün çekildiği anda platformun konumuna bağlı olarak soldan sağa doğru sıralanır. Bir SAR görüntü çiftinin sırası, sensörün ışın konumu (sağ veya sol taraf) ve uydu yörünge geçişi (yükselen veya alçalan), iki faktöre bağlıdır.



Şekil 2.9 Eş-yönlü ve zıt-yönlü stereo geçişlerin görselleri.

Şekil 2.9'da eş-yönlü ve zıt-yönlü stereo geçiş görsellerinde, yükselen ve alçalan yörüngelerden köşe yansıtıcıların uydu geçişlerine uygun bir yükselme açısı ve yöneltmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Sentinel-1 uydusu ile yapılan ilk çalışma neticesi alınan geçiş periyodu, eş-yönlü stereo geçişten yükselen 87 ve 160 relatif yörüngesinden alımı yapılan SAR görüntülerinden elde edilmiştir. Zıt-yönlü stereo geçişlerle deneme sağlanmış ancak yeterli

korelasyon yakalanamadığından işleme devam edilememiştir. 65 relatif yörüngesindeki alım geometrisi alçalan yönlüdür. Hem arazide hem de simülasyonda yönlerin ve aralarındaki bakış açılarına dair herhangi bir bilgi elde edilemiyor çünkü ESA almanak verilerinin paylaşımını konusunda yeni bir sisteme geçiş yapıldığı için bilgi elde edilemedi.

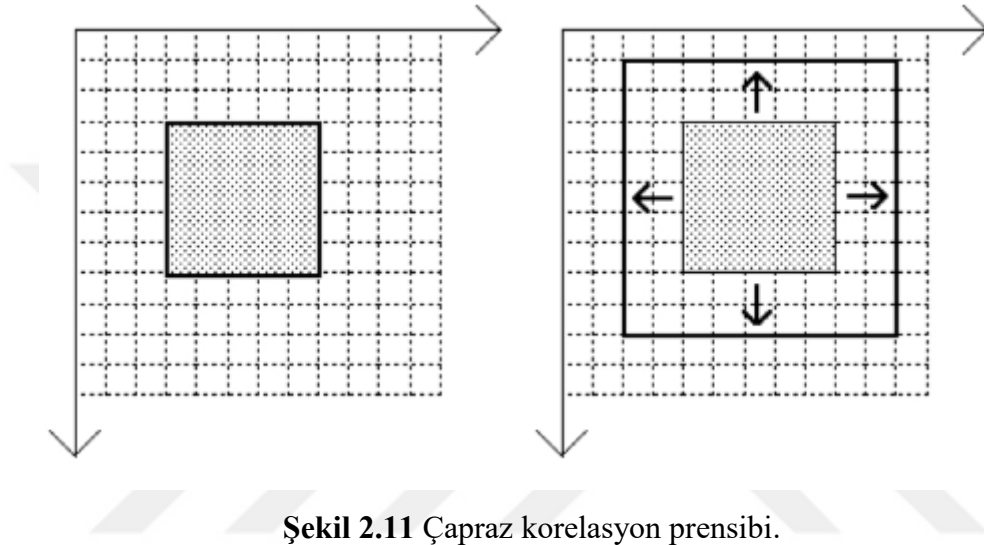


Şekil 2.10 Radargrametri aynı yönlü uydu alım geometrisi.

Görüntü eşleştirme terimi, uzayda en azından kısmen aynı fiziksel nesneleri tasvir eden iki veya daha fazla dijital görüntüden çıkarılan ilkeller arasında otomatik uyum kurulması anlamına gelir. Fotogrametri ve bilgisayarlı görü araştırma alanlarında görüntü eşleştirmeye yönelik birçok farklı yaklaşım geliştirilmiştir. Tüm eşleştirme algoritmalarında dikkate alınması gereken, ilksel bir modelin ve dolayısıyla bir tanımlama kriterinin tanımlanması; çift görüntü üzerinde homolog noktaların aranması için bir strateji seçimi iki temel unsuru vardır. Alan Tabanlı Eşleştirme (ABM), görüntü eşleştirme, görüntü yoğunluğu modellerini işleyen ve piksellerde yazışmalar oluşturan kare veya dikdörtgen bir piksel penceresi üzerinde gerçekleştirilir. Pratikte bir görüntüden kesilen ve şablon olarak adlandırılan bir görüntü yaması, ikinci görüntüdeki arama alanı veya penceresi olarak adlandırılan aynı boyuttaki yamalarla karşılaştırılır. Daha önce de belirtildiği gibi, bu yöntem mutlak yoğunluk, kontrast, aydınlatma ve görüntü gürültüsündeki değişikliklere karşı hassastır ve genellikle başarı oranı temel olarak iyi görüntü dokusunun varlığına, yaklaşımların kalitesine ve korelasyon penceresi boyutu, arama mesafesi ve korelasyon katsayısı için kabul eşiği gibi bir dizi eşleştirme parametresine bağlıdır. Alan tabanlı eşleştirme için en çok kullanılan yöntemler Çapraz

Korelasyon ve En Küçük Kareler Eşleştirmesidir. Bu yöntemler piksel altı doğruluk sağlar ve en iyi performanslar iyi dokulu görüntülerde elde edilir.

İki görüntünün normalleştirilmiş çapraz korelasyon fonksiyonunu hesaplamak için, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi bir örnek pencere daha büyük bir arama penceresi boyunca sabit bir piksel mesafesi kadar kaydırılır ve her konumda örnek pencere ile arama penceresinin karşılık gelen kısmı arasındaki çapraz korelasyon katsayısı ρ denklem 2.1'e göre hesaplanır:



Şekil 2.11 Çapraz korelasyon prensibi.

$$\rho = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_1(r,c) - \mu_1)(g_2(r,c) - \mu_2)}{\sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_1(r,c) - \mu_1)^2 * \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g_2(r,c) - \mu_2)^2}} \quad (2.1)$$

- $g_1(r, c)$ örnek matrisin bağımsız gri değeri
- μ_1 örnek matrisin ortalama gri değeri
- $g_2(r, c)$ arama matrisinin ilgili kısmının bağımsız gri değeri
- μ_2 arama matrisinin ilgili kısmının ortalama gri değeri
- R, C örnek matrisin satır ve sütun sayısı

Ortaya çıkan çapraz korelasyon fonksiyonunun maksimum değeri, şablon ile arama penceresi arasındaki en iyi eşleşmenin konumunu tanımlar. Merkezleme (ortalama değerin çıkarılması) çapraz korelasyonu şablon ve arama penceresi arasındaki parlaklık farklılıklarına karşı dayanıklı hale getirirken, normalleştirme kontrast farklılıklarına karşı dayanıklı hale getirir. Çapraz korelasyon kavramsal olarak çok basittir, uygulaması kolaydır ve hesaplama açısından hızlıdır. Temel sorun, şablon ve yama arasında yalnızca iki kaydırma parametresine izin

vermesidir. Dönmeler, ölçek ve diğer deformasyonlar bu yöntemle değerlendirilemez. Bu nedenle çapraz korelasyon uygulanırken aşağıdaki kurallar uygulanmalıdır:

- küçük bir örnek boyutu ile kullanılmalıdır, çünkü boyut ne kadar büyük olursa bozulma riski de o kadar yüksek olur;
- döndüklük ve ölçeği de hesaba katmak için yalnızca epipolar görüntülerle kullanılmalıdır.



BÖLÜM 3

RADAR KESİT ALANI VE KÖŞE-YANSITICI YÖNELTME

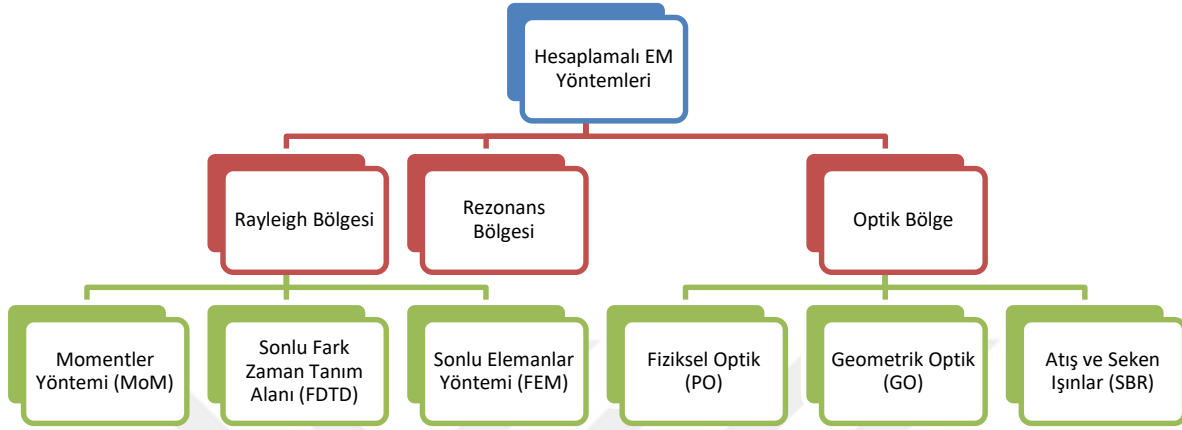
3.1 RADAR KESİT ALANI HESABI

Bir hedefin radar kesit alanı (RKA), bir radar sistemi tarafından görülen hayali bir alan olarak tanımlanabilir ve hedefin kendisinden geri saçılan gücün ölçüsüdür. Bir hedefin RKA'sini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bunlar, hedefin yüzeyinin yansıtıcılığını etkileyen hedef malzemesinin elektriksel özellikleri, hedefin fiziksel geometrisi, radar gönderici frekansı ve gelen dalganın polarizasyonudur. Gelen elektro manyetik (EM) dalganın frekansı, ilgili frekans bölgesinin belirlenmesi açısından büyük önem taşır. Düşük frekanslarda Rayleigh bölgesi, orta frekanslarda Rezonans bölgesi ve yüksek frekanslarda Optik bölge olarak belirtilen üç frekans bölgesi vardır. Verici dalga boyu ile hedefin boyutu karşılaştırıldığında, hedefin dalga boyu daha büyüktür. Rayleigh bölgesi, dalga boyu ve boyut Rezonans bölgesinde aynı hizadadır ve dalga boyu Optik bölgede daha küçüktür.

RKA, Rayleigh bölgesinde dalga boyunun dördüncü kuvveti (λ^4) ile göreceli olarak değişir. Mie bölgesi olarak da bilinen Rezonans bölgesinde, frekanstaki değişimler nedeniyle RKA'da salınımlar gözlenmektedir. Son bölge olan Optik bölgede, RKA bu bölge boyunca sabit kalarak daha basit bir davranış sergiler.

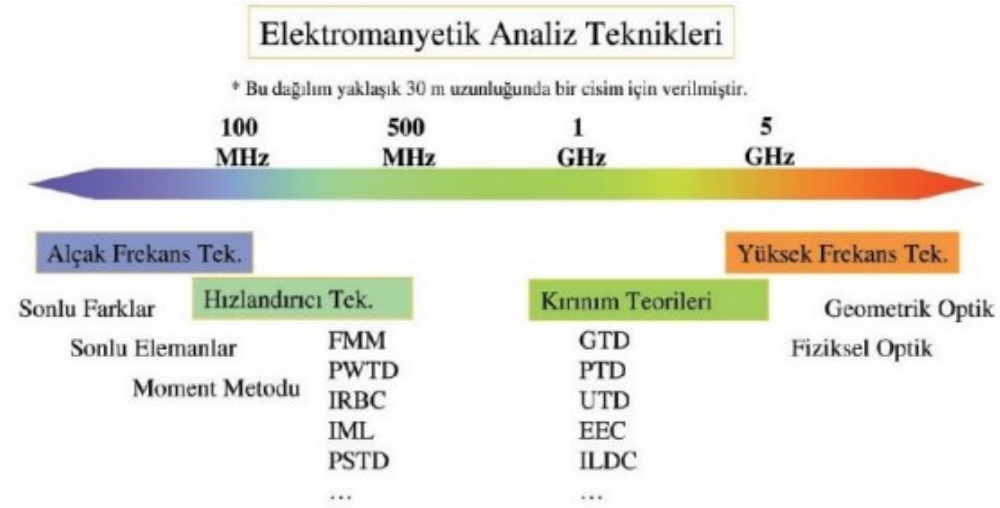
Yüzey integral denklemine Momentler Yöntemi (MoM) çözümü, Sonlu Farklar Zaman Alanı (FDTD) ve Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) en yaygın kullanılan hesaplamalı EM yöntemleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu yöntemlerin kullanımı Rayleigh ve Rezonans bölgelerindeki düşük frekanslarda uygundur. Kesin yöntemler olarak bilinirler ve tam dalga teknikleri olarak da bilinirler. Öte yandan, PO ve GO gibi elektriksel olarak büyük nesnelerden saçılmayı hesaplamak için kullanılan yaklaşım teknikleri, yüksek frekanslarda Optik bölgede kullanılmak üzere geçerlidir. Yaklaşım teknikleri, keskin kenarlar ve köşeler durumunda doğruluğu korumak için birlikte kullanılacak bazı ek kırınım tekniklerinin desteğine ihtiyaç duyabilir. Bu

kırınım teknikleri Geometrik Kırınım Teorisi (GTD) (Lahiri 2016), Fiziksel Kırınım Teorisi (PTD) (Ufimtsev 2014) ve GTD'ye bir ek olan Düzgün Kırınım Teorisidir (UTD) (Paknys 2016). Frekans bölgelerine göre uygun hesaplamalı EM yöntemleri için diyagram Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 3.1 Hesaplamalı EM yöntemleri.

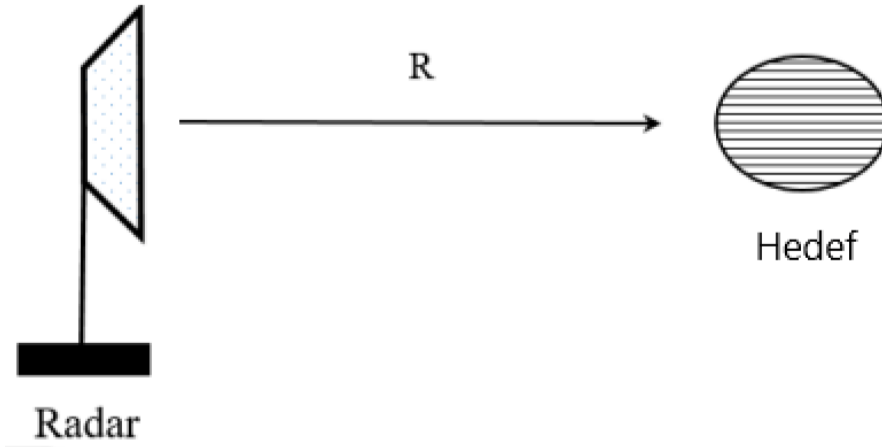
Bir hedefin RKA'sı, simülasyon ve ölçüm teknikleri de dahil olmak üzere Şekil 3.2'de gösterildiği gibi frekansa bağlı olarak çeşitli yöntemler kullanılarak hesaplanabilir. RKA simülasyonları C band 5.405Ghz olan Sentinel-1 uydusu için uygun çözümlemeler Predics RCS ve RadarSimX kütüphanesi gibi yazılım araçları kullanılmıştır. Bu simülasyonlar, sonuçları bir hedef üzerinde gerçekleştirilen gerçek RKA ölçümleriyle karşılaştırılarak doğrulanabilir. Diğer bir yöntem ise hedefin üçgen yüzeyler toplamı ile modellenmesini ve sırasıyla birinci ve ikinci dereceden yansımaları hesaplamak için Fiziksel Optik (PO) ve Geometrik Optik (GO) kullanılmasını içerir (Özdemir vd. 2014; Buchberger vd. 2022). Ek olarak, yankısız ekstrapolasyon tesisine dayalı bir ölçüm yöntemi de kullanılabilir; burada hedefin RKA'sı farklı mesafelerdeki test verilerinin uydurulmasıyla elde edilir. Bu yöntemler, bir hedefin RKA'sını hesaplamak için farklı yaklaşımlar sağlar ve radar aydınlatması altında hedefin yankı yoğunluğunu tahmin etmede esneklik ve doğruluk sunar.



Şekil 3.2 Elektromanyetik analiz tekniklerinin frekansa bağlı çözüm yöntemlerinin dağılımı.

3.2 RKA DENKLEMLERİ

Bir radar sistemi ile hedef arasında Şekil 3.3'te gösterildiği gibi bir R uzaklığı olduğu varsayılırsa, gelen dalganın güç yoğunluğu W_i denklem 3.1 (Knott 1993) ile ifade edilebilir, burada Y_0 ortamın içsel geçirgenliğidir.



Şekil 3.3 R mesafesinde bulunan hedef.

$$W_i = \frac{|E^{inc}|^2 Y_0}{2} \quad (3.1)$$

Hedef tarafından yakalanan gücün elde edilmesi için, hedefin hayali alanı (σ) Denklem 3.1 ile çarpılacaktır.

$$P = \sigma W_i = \frac{\sigma |E^{inc}|^2 Y_0}{2} \quad (3.2)$$

Burada σ RKA'yı temsil eder ve yakalanan gücün radyasyonunun bu hedeften izotropik olduğu varsayılırsa, saçılan dalganın güç yoğunluğu W_s şu şekilde gösterilebilir;

$$W_s = \frac{P}{4\pi R^2} = \frac{\sigma |E^{inc}|^2 Y_0}{8\pi R^2} \quad (3.3)$$

W_s gösterimi saçılan elektrik açısından gösterilecek E^{scat} şekilde değiştirilebilir.

$$W_s = \frac{|E^{scat}|^2 Y_0}{2} \quad (3.4)$$

Denklem 3.3 ve Denklem 3.4 RKA (σ) notasyonu cinsinden birlikte çözüldüğünde, σ şu şekilde gösterilebilir:

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{|E^{inc}|^2}{|E^{scat}|^2} \quad (3.5)$$

Radar sistemi ve hedefin birbirlerine göre uzak alanda yer almasını sağlamak için, radar sistemi ile hedef arasındaki R uzaklığı bir limit işlemi ile sonsuza yaklaştırılmalıdır (Knott vd. 2004). Sonuçta elde edilen ve 3-boyutlu bir hedef için en genel RKA (σ) ifadesi aşağıdaki gibidir

$$\sigma_{3D} = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|E^{scat}|^2}{|E^{inc}|^2} \quad (3.6)$$

Bu denklem, gelen dalganın bir düzlem dalga olduğu varsayımı için geçerlidir. Burada E^{scat} ve E^{inc} parametreleri hedefte saçılan elektrik alanı ve gelen elektrik alanına, R ise radar ile hedef arasındaki mesafeye karşılık gelir. RKA birimi metre karedir, ancak sıklıkla desibel cinsinden de ifade edilir.

Denklem 3.6'te verilen RKA formülasyonu, saçılan ve gelen güç yoğunluğu ve manyetik alanlara göre de oluşturulabilir. Bu ek gösterimler Denklem 3.7 ve Denklem 3.8'de verilmiştir.

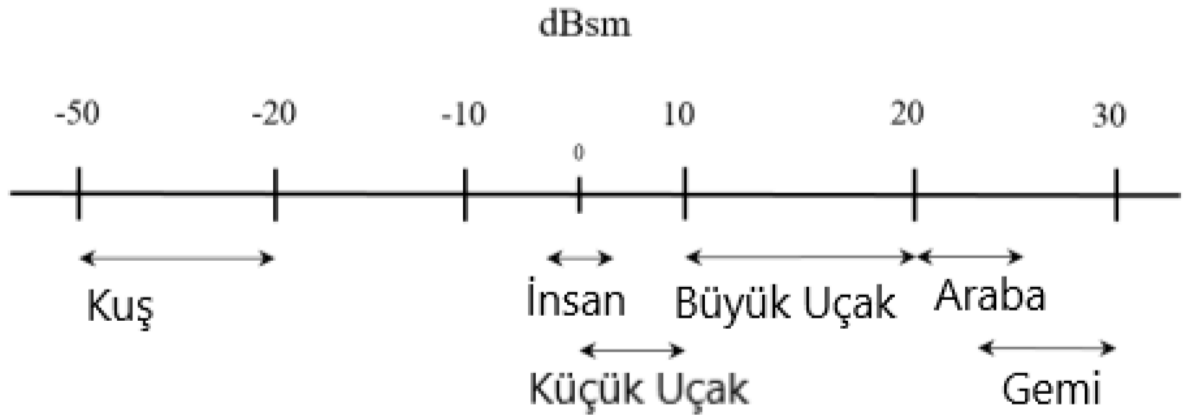
$$\sigma_{3D} = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|S^{scat}|^2}{|S^{inc}|^2} \quad (3.7)$$

$$\sigma_{3D} = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|H^{scat}|^2}{|H^{inc}|^2} \quad (3.8)$$

Metrekare (m²) yerine RKA genellikle Denklem 3.9 kullanılarak metrekareye göre desibel (dBsm) ile ifade edilir.

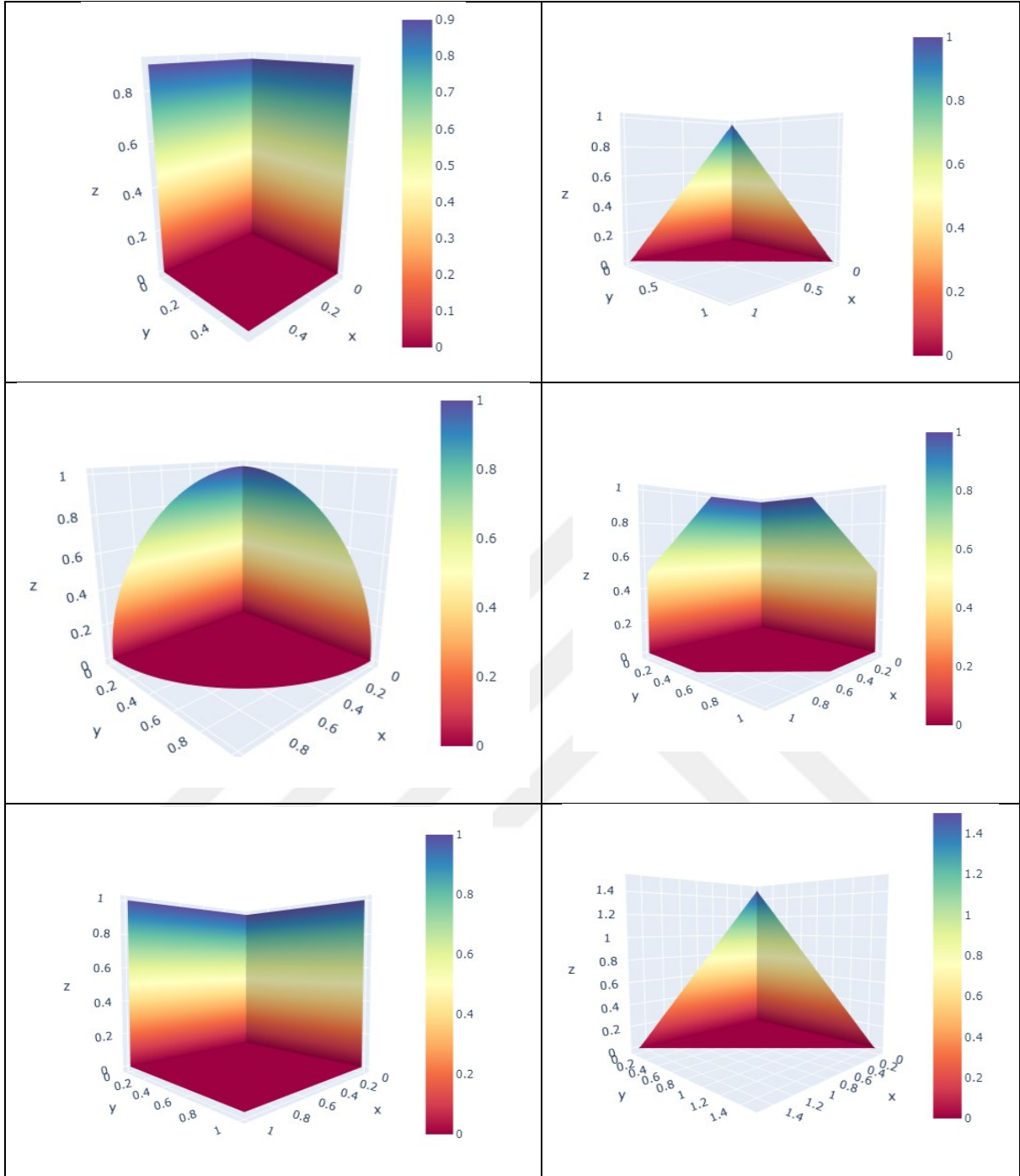
$$\sigma(\text{dBsm}) = 10\log(\sigma) \quad (3.9)$$

RKA'ları -50 ila 30 dBsm (0.00001m² ila 1000m²) arasında değişen çeşitli hedefler için bilinen bazı örnekler Şekil 3.4'de verilmiştir.

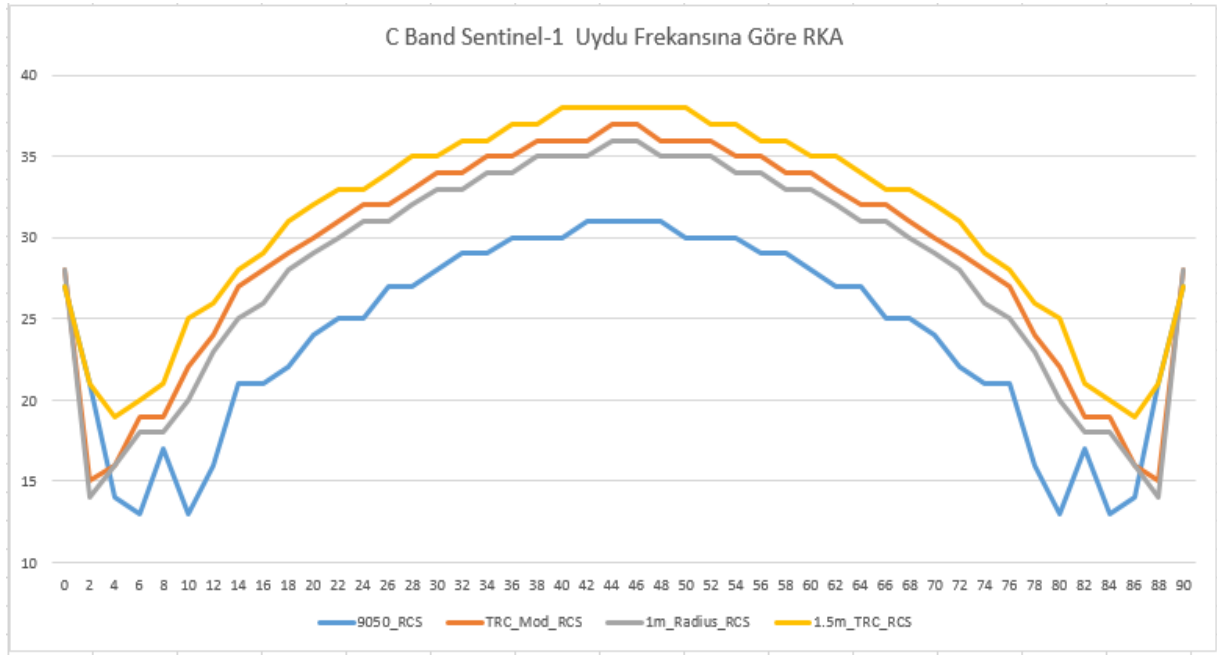


Şekil 3.4 Çeşitli hedeflerin RKA'ları.

Simulasyonları ve radar kesit alanları hesaplanmak üzere 6 adet farklı köşe-yansıtıcı tasarlanıp ve hepsinin RKA'ları C band 5.405 Ghz göre hesaplandı. Bunun neticesi, Şekil 3.6'da grafiğinde 37.93 desibel metrekare köşegen modifiye edilmiş 1 metrelik köşe-yansıtıcımızın sahada kullanımı uygun görülmüştür.



Şekil 3.5 6 adet köşe-yansıtıcı tasarımı



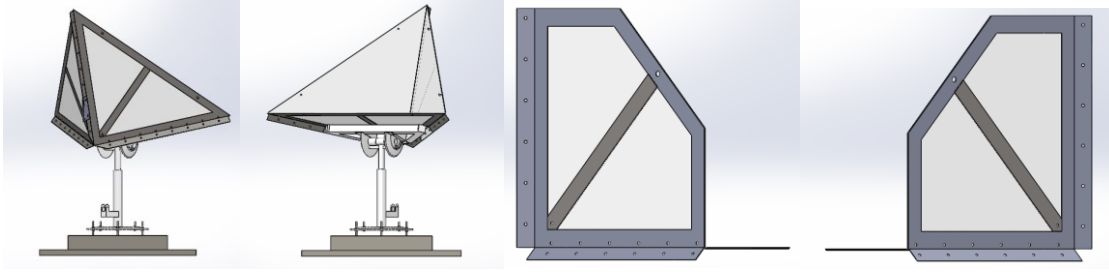
Şekil 3.6 Arazide uygulanabilir köşe-yansıtıcıların RKA grafik gösterimi.

3.3 KÖŞE-YANSITICI ÜRETİMİ

Üretim için yapılabilmesi için Türkiye Taşkömürü Kurumu Karadon Müessesesi, Zonguldak Mesleki Teknik Lisesi Metal Atölyesine ve Baz Metalin imkanlarından yararlanılmıştır. Tasarımı Şekil 3.7’de CAD ortamında gerçekleştirilmiş olan 6 adet köşe-yansıtıcı geometrisinden 4 farklı tasarım üretimi gerçekleştirilmiş ve içlerinden bir metrelik köşeleri kesik modifiye köşe-yansıtıcı geometrisi simülasyonlarda da 1.5 metrelik üçgensel köşe yansıtıcıya yakın değerde yansıma verdiği için araziye uygulanabilecek şekilde toplamda Çizelge 3.1’de belirtildiği gibi 8 adet köşe yansıtıcı imal edilmiştir.

Çizelge 3.1 Çalışma alanı geneline dağıtılacak olan sekiz adet köşe-yansıtıcının dağılımı.

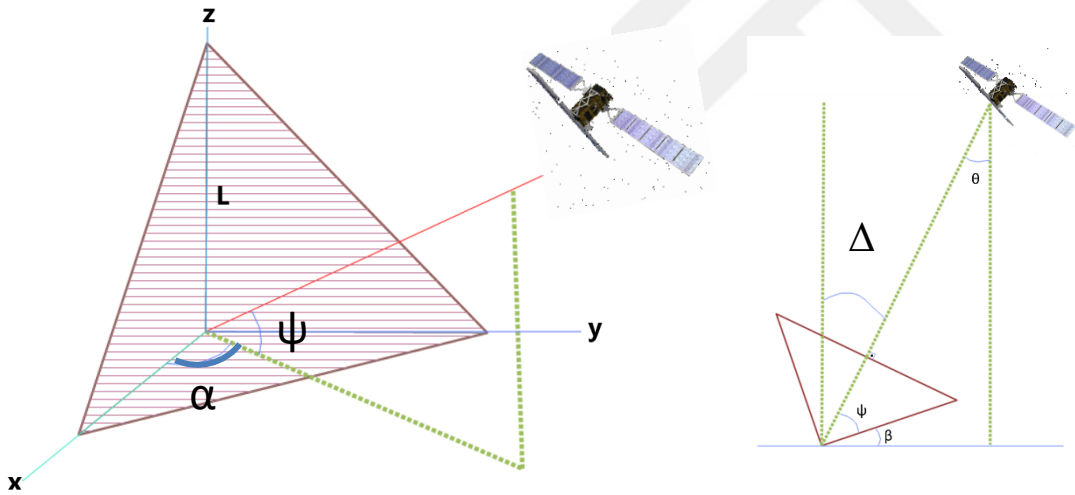
Boyut/Tür	Üçgensel	Üçgensel Yay Köşeli	Üçgensel Modifiye Köşeli
1.5 metre	1 adet	-	-
1 metre		1adet	6 adet



Şekil 3.7 Köşe-yansıtıcıların modüler CAD tasarımları.

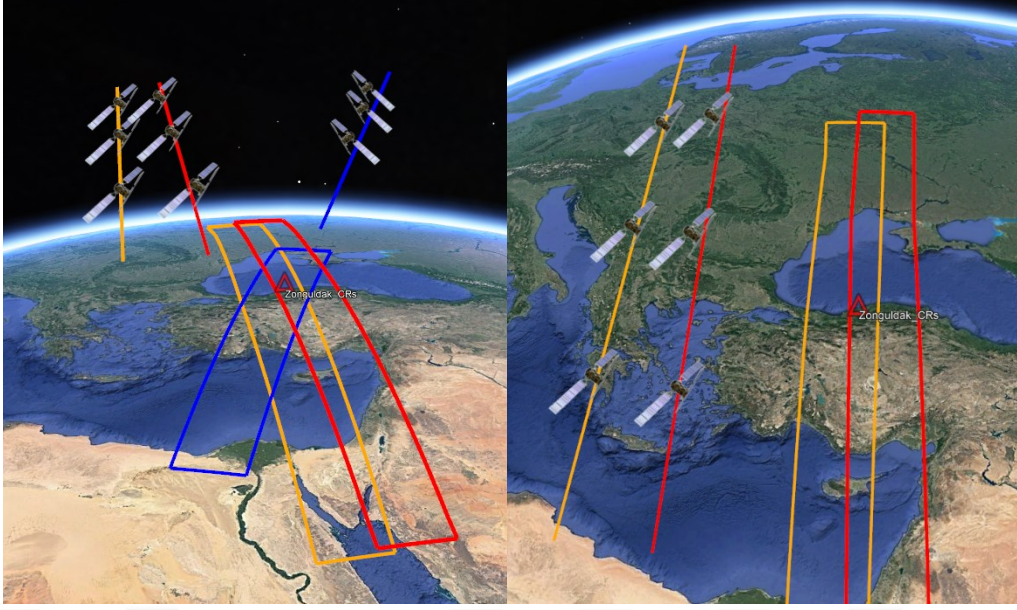
3.4 KÖŞE-YANSITICI YÖNELTMESİ

Sentinel-1A uydusunun 87 ve 160 yükselen yörünge geçişinin, Zonguldak-Bartın çalışma alanımızı görüntülerken sırasıyla 259° ve 261° azimut açısı Güney-Batı yönünde geçmektedir. Topoğrafyaya bağlı eğim yatayda sıfırlandıktan sonra uydu eğim açısından 35.26 dereceyi çıkardığımızda, yansıtıcının açık yüzünü sonuç derecesinde yöneltmek gereklidir (Doerry 2018).



Şekil 3.8 Köşe yansıtıcının uydu geçiş yönüne göre geometrisi.

$\Psi = \tan^{-1} (a/\sqrt{2}) \approx 35.26$ derecedir. α azimut açısını, β eğim açısını (topoğrafya ile KY'nin taban plakası arasındaki açı), θ off nadir açısını ve Δ bakış (incidence) açısını göstermektedir.



Şekil 3.9 Zonguldak-Bartın çalışma alanını kaplayan Sentinel-1 uydu geçişlerinin yeryüzündeki izi.

N2YO, isimli websitesi sayesinde geçiş tarihleri ve algılama parlaklıkları bulunabilir. Uydu güncellemeleri konusunda biraz geç olsa da Şekil 3.10'daki gibi amatör ve kullanışlı geçiş çıktıları sağlamaktadır.

10-DAY PREDICTIONS by N2YO.COM

Object name SENTINEL 1A
Catalog #: 39634, 2014-016A
Observing coord.: Lat: 39.92°, Lng: 32.85°
Local time zone GMT +3

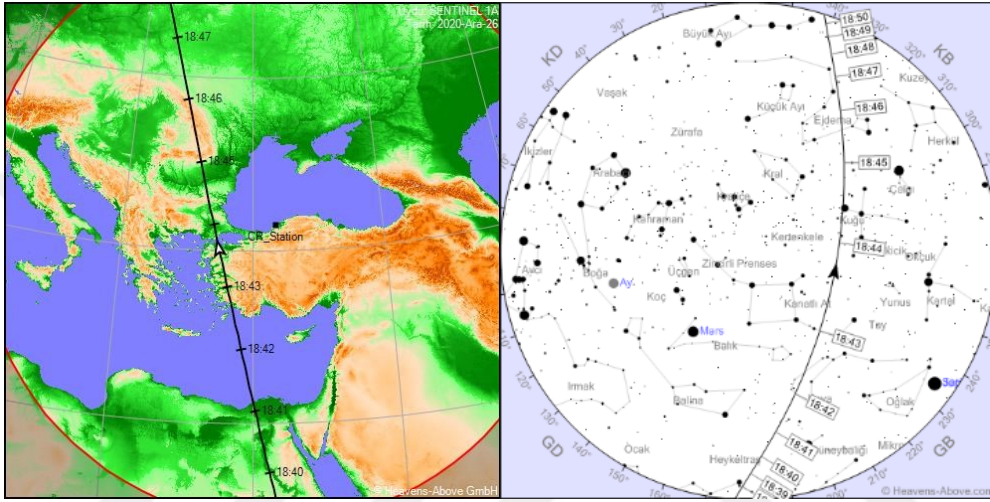
Start ↑		Max altitude			End ↓		Visible passes
Date, Local time	Az	Local time	Az	EI	Local time	Az	Mag
24-Dec 18:53	S 187°	18:59	W 265°	36°	19:06	NNW 338°	+5.2
25-Dec 06:51	NNE 17°	06:58	E 105°	58°	07:05	S 184°	+4.6
25-Dec 17:55	SSE 155°	18:02	ENE 71°	56°	18:09	N 352°	+4.6
25-Dec 19:34	SW 212°	19:40	W 268°	14°	19:46	NW 325°	+6.4
26-Dec 05:55	NE 33°	06:01	E 92°	15°	06:07	SE 149°	+6.3
26-Dec 07:32	N 7°	07:39	WNW 290°	53°	07:45	SSW 207°	+4.7
26-Dec 18:36	S 177°	18:43	W 263°	54°	18:50	NNW 342°	+4.6
27-Dec 06:35	NNE 21°	06:42	E 100°	39°	06:48	S 174°	+5.1
27-Dec 08:13	N 357°	08:19	WNW 293°	22°	08:25	SW 231°	+5.9
27-Dec 17:39	SE 145°	17:46	ENE 68°	38°	17:52	N 357°	+5.1
27-Dec 19:18	SSW 202°	19:24	W 267°	21°	19:30	NNW 330°	+6.0
28-Dec 07:16	N 11°	07:23	WNW 285°	79°	07:29	SSW 198°	+4.3
28-Dec 18:20	S 168°	18:27	W 263°	81°	18:33	N 346°	+4.3
29-Dec 06:19	NNE 25°	06:26	E 97°	26°	06:32	SSE 164°	+5.6
29-Dec 07:57	N 1°	08:03	WNW 291°	30°	08:09	SW 221°	+5.4
29-Dec 17:24	SE 136°	17:30	ENE 67°	27°	17:36	N 1°	+5.6
29-Dec 19:01	S 191°	19:07	W 265°	30°	19:14	NNW 336°	+5.5
30-Dec 06:59	N 13°	07:06	E 94°	70°	07:13	S 189°	+4.3
30-Dec 18:03	SSE 159°	18:10	E 80°	69°	18:17	N 350°	+4.4
30-Dec 19:43	SW 218°	19:48	W 269°	11°	19:54	NW 321°	+6.6
31-Dec 06:03	NE 31°	06:09	E 92°	18°	06:15	SSE 154°	+6.1
31-Dec 07:40	N 3°	07:47	WNW 288°	44°	07:53	SW 212°	+4.9
31-Dec 18:44	S 182°	18:51	W 258°	44°	18:58	NNW 340°	+4.9

Legend: Not visible Marginal Good Excellent

Şekil 3.10 N2YO web tabanlı uydu takip hizmeti 10 günlük planlı geçiş.

Sentinel-1 geçişlerinin bir seçimi için www.heavens-above.com/ web sitesini kullanma adımları:

1. Konumunuzu seçin. Yapılandırma menüsü altındaki <http://www.heavens-above.com/> adresinde, "Gözlem konumunuzu değiştirin" seçeneğini seçin. 'Aranacak yeri girin' alanına Zonguldak girin ve bulunduğunuzda sayfanın altındaki Güncelle düğmesine basın.
2. Uydu Veritabanı bağlantısından (Uydular menüsü altında) Sentinel-1A'yı seçin. Uydu numarası aralığında 39634'ü iki kez girin:

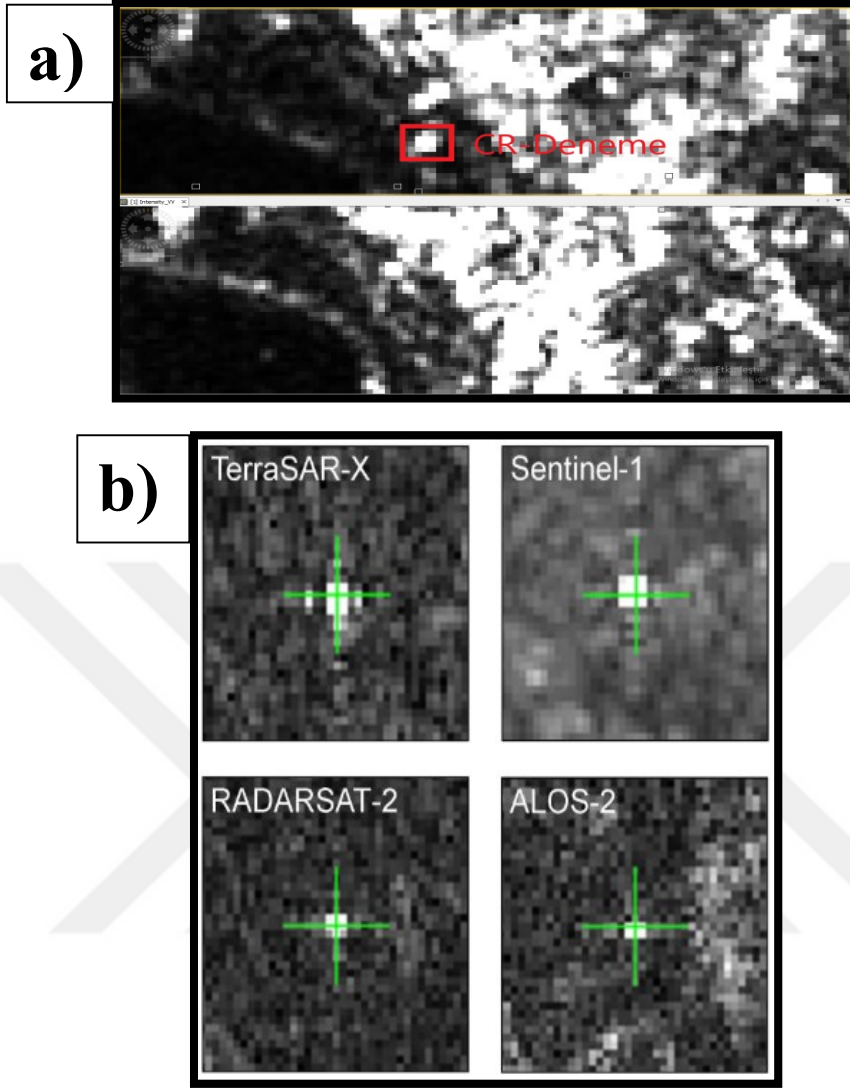


Şekil 3.11 Sentinel-1A Geçiş 26 Aralık tarihli Yükselen yörünge parametreleri.

Azami Yükseklik satırında bulunan yükseklik açısından 35.26 dereceyi çıkardığımızda 22.74 derecelik bir yükselme açısı ile yönelttik. Aynı zamanda Azimut açısı olan 259 Batı yönüne döndürüldü.

Çizelge 3.2 Heaven-above websitesinin bir geçiş içerikli bilgileri.

Tarih:	26 Aralık 2020 Cumartesi					
Yörünge:	695 x 696 km, 98,2° (Referans zamanı: 24 Aralık)					
Olay	Zaman	Yükseklik Açısı	Güney açısı (azimut)	Uzaklık (km)	Parlaklık	Güneş'in yüksekliği
Doğuş	18:36:49	0°	176° (G)	3.058	9,1	-12,2°
Yüksekliğe ulaşır: 10°	18:39:06	10°	180° (G)	2.145	8,4	-12,6°
Azami Yükseklik	18:43:43	58°	259° (B)	810	6,3	-13,4°
Yüksekliğin altına düşer: 10°	18:48:23	10°	339° (KKB)	2.161	8,2	-14,2°
Batış	18:50:41	0°	343° (KKB)	3.082	8,9	-14,6°



Şekil 3.12 a) Köşe-yansıtıcı arazi denemesi sonucundaki Kozlu sahil uydu görüntüsü b) diğer çalışmalardan 1.5 metrelik köşe yansıtıcı görüntüsü (Capaldo 2012).

Sentinel takım uydusuna ait detaylı ve güncel yörünge bilgilerinin bulunduğu sayfadır. Güncel geçişlere ait *.kml dosyası indirilip Google Earth Pro programı üzerinden ilgi çalışma alanına ait geçiş tarih ve saatleri tespiti yapılır. Uydu kontrol birimi tarafından doğrudan yayınladıkları için en güncel haliyle her zaman geçiş sağlanmaktadır.

Köşe-yansıtıcıların her biri ayrı bir istasyon olarak tesis edilecek ve hedef uyduya yönlendirilecektir. Burada bir kaç temel hususa çok dikkat edilecektir. İlki köşe-yansıtıcıların çalışma alanındaki dağılım geometrisidir. Dağılımda, köşe-yansıtıcıların olabildiğince radyal ve SAR görüntülerine düzgün dağılmış nitelikte olmasına önem verilecektir. Dağılımda ayrıca köşe-yansıtıcıların görüntülerde daha net farkedilebilmesi için açık alanda olmalarına dikkat

edilecektir. Burada 50m kadar yarıçapta yüksek ve yansıtımı olumsuz etkileyecek bina, yüksek ağaç, deniz vb. obje bulunmamasına özen gösterilecektir. Bir diğer konu ise sahada sabitleme yapılacağından köşe-yansıtıcının güvenli bir konumda olmasıdır.

3.5 SAR GÖRÜNTÜSÜ ÜZERİNDE GÖRÜNÜR RADAR KESİT ALANI METODOLOJİSİ

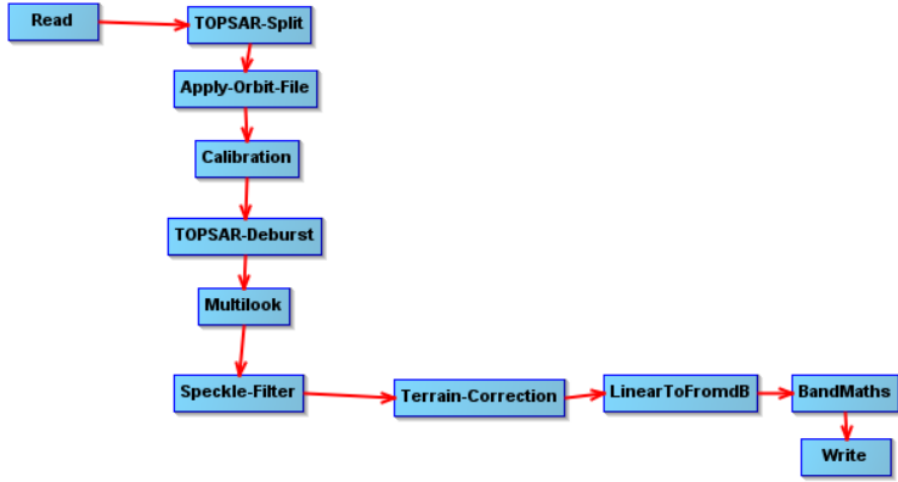
Görünür Radar Kesit Alanının hesaplanabilmesi için SNAP Sentinel yazılımının grafik kısmında sıralı adımlar oluşturulmuştur. Kritik adımlar kalibrasyon aşaması, Multilook faktör uygulaması, Speckle filtreleme ve Band Math'da kullanılan formüldür.

Yörünge dosyalarının kullanımının coğrafi konumun doğruluğunu artırdığı gözlemlenmiştir. Avrupa Uzay Ajansı (ESA), ürünün oluşturulmasını takip eden iki hafta içinde doğru yörünge dosyalarını derhal sağlamaktadır. Yörünge dosyası uygulama adımında, SNAP yazılımı bu yörünge dosyalarını otonom olarak tanımlar ve dahil eder (Sefercik vd. 2018).

SAR kalibrasyon süreci, piksel değerlerinin gözlemlenen sahnenin radar geri saçılımıyla doğrudan ilişkilendirilebileceği bir görüntü oluşturmak için gerçekleştirilir. SAR verilerini niceliksel olarak kullanmak için Sigma sıfıra (σ_0) kalibrasyon zorunludur. Bu kalibrasyon özellikle farklı tarihlere ait görüntüleri karşılaştırırken veya geri saçılımın kesin ölçümlerini çıkarırken gereklidir (Martinis ve Rieke 2015). Tek bir görüntüyü kategorize etmeyi amaçlarken, kalibrasyona ihtiyaç duymadan kalibre edilmemiş Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) verilerini kullanmak mümkündür. Bu özel senaryoda SNAP yazılımı, Sentinel GRD ürününden kalibrasyon denklemini uygulamak için gereken ilgili verileri etkin bir şekilde alır. İşleme parametreleri sekmesinden, bu senaryoda özellikle VV olmak üzere, bir polarizasyon seçilmelidir. Seçilecek çıkış bandı σ_0 'dır ve çalıştır düğmesine tıklandığında radyometrik olarak kalibre edilmiş bir sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntüsü oluşturulacaktır. Bu görüntüdeki sayısal sayı (DN) değerleri artık σ_0 cinsinden ifade edilen radar geri saçılımını doğru bir şekilde temsil edecektir. σ_0 olarak ifade edilen normalize edilmiş radar kesiti, meta verilerden elde edilen kalibrasyon sabiti ve geliş açısı bilgilerini içerir.

Çoklu bakış faktörünün hesaplanması ve uygulanması sırasında, menzil ve/veya azimut çözünürlük hücrelerinin ortalaması alınarak çoklu perspektifler oluşturulabilir. Bu, çözünürlüğün iyileştirilmesine yardımcı olur. Uzamsal çözünürlüğün azaltılması pahasına.

Sonuç olarak, görüntü daha az gürültüye sahip olacak ve eğikten yer menziline dönüştürüldükten sonra pikseller eşit aralıklı olacaktır.

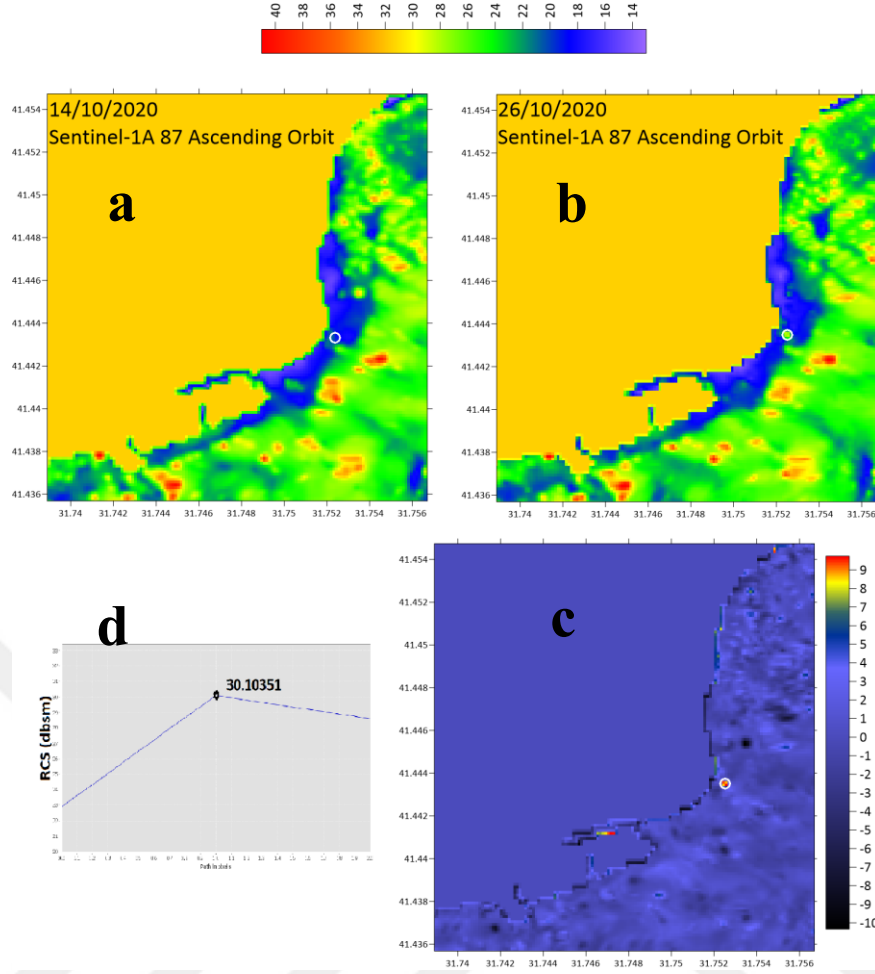


Şekil 3.13 Görünür RKA hesaplama metodolojisi.

Benek filtreleri, bulanık özelliklerdeki veya düşük çözünürlüklü SAR görüntülerindeki benek miktarını azaltmak için verilere uygulanabilir. En iyi filtre seçimi genellikle verinin türüne, uzamsal çözünürlüğüne, doğal beneklenme derecesine ve uygulamaya bağlıdır. İşleme adımları, Refined Lee filtresinin uygulanması ve köşe yansıtıcısının yansımalarının kontrol edilmesiyle devam etmiştir.

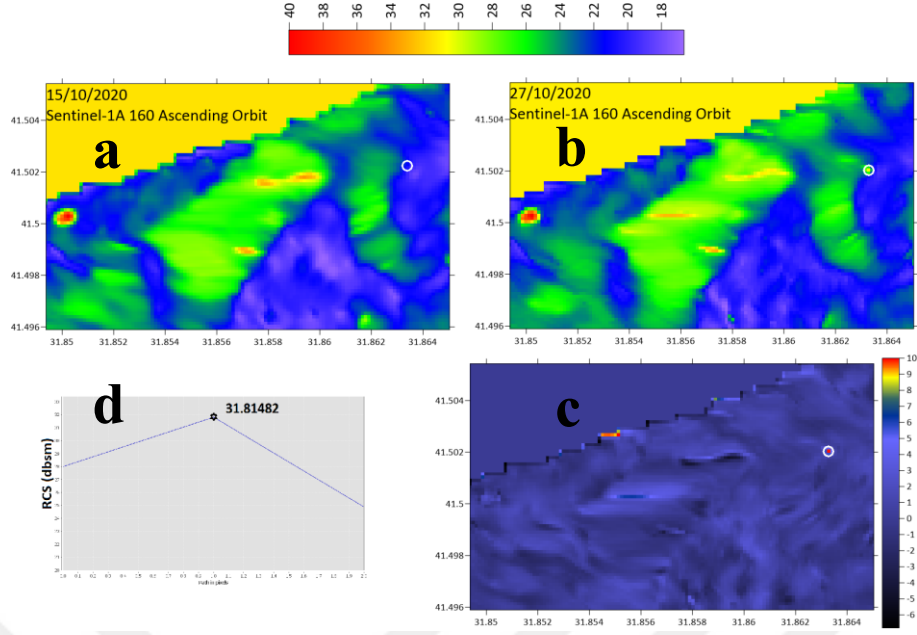
$$\text{Görünür RKA} = \beta_0 * \Delta \arg * \Delta \text{az} \quad (3.11)$$

Görünür RKA, bir radar sistemi tarafından algılanan ve genellikle yansıyan sinyallerin tepe değerleri kullanılarak tahmin edilen radar kesitini ifade eder. β_0 (beta naught) SAR görüntülerinde radar parlaklığı $\Delta \arg/\text{az}$ menziline ve azimut çözünürlüğünü tanımlamak için kullanılan bir terimdir.



Şekil 3.14 87 yükselen SAR görüntüsü a) köşe yansıtıcı yerleştirilmeden önce b) köşe yansıtıcı yerleştirildikten sonra c) köşe yansıtıcı öncesi ve sonrası arasındaki fark d) Görünür RCS profili.

Radartepe çalışma alanı 170 metre yükseklikte rüzgar paraşütü fırlatma rampası üzerinde yer almaktadır. Kısmen düz ve çimenlerle kaplı olması, çevresinde engel teşkil edebilecek objelerin (ağaç, aydınlatma direği vb.) bulunmaması nedeniyle daha yüksek verim elde edileceği öngörülmüştür. Şekil 9'da Sentinel-1A'nın 15 Ekim 2020 ve 27 Ekim 2020 tarihlerinde 12 gün arayla yaptığı geçişlerin ön işleme adımlarından sonraki geri saçılım görüntüleri sırasıyla a, b olarak numaralandırılmıştır. Görünür RKA değerinin hesaplanması ve iki görüntü arasındaki farkların belirlenmesi ile geri saçılım değeri yüksek olan görüntüde konumlanmış köşe yansıtıcı daha ayırt edilebilir hale gelmektedir. Fark analizi sonucunda görünür RKA değerimiz 31.81482 dbsm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.15 87 yükselen SAR görüntüsü a) köşe yansıtıcı yerleştirilmeden önce b) köşe yansıtıcı yerleştirildikten sonra c) köşe yansıtıcı öncesi ve sonrası arasındaki fark d) Görünür RCS profili.

İndirilen SAR görüntüleri ön işleme tabi tutulduktan sonra, konumları bilinen köşe yansıtıcılarının görünür RKA değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.4'de hesaplanan RKA değerleri ile ön işleme adımlarından sonra SAR görüntülerinden gözlemlenenler arasındaki farklar Radartepe için 0,43741 dbsm ve Kozlu Sahili için 2,14872 dbms'dir.

Çizelge 3.3 Fark RKA değerleri.

Çalışma Alanı	RKA Predics (dbsm)	Görünür RKA (dbsm)	Δ RCS(dbsm)
Radartepe	32.25223	31.81482	0.43741
Kozlu Sahil		30.10351	2.14872



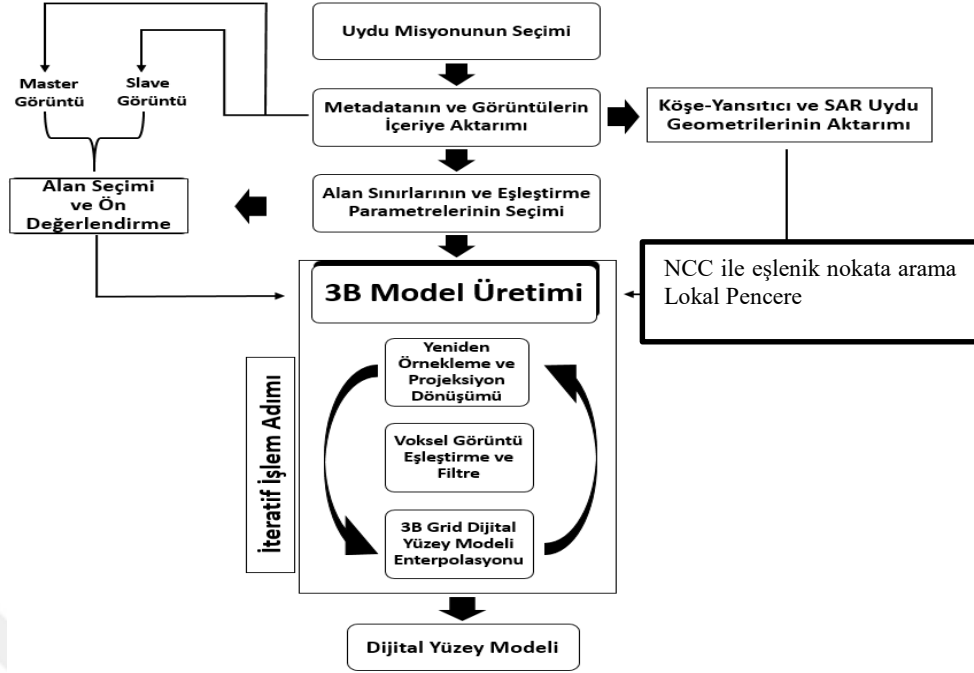
BÖLÜM 4

RADARGRAMETRİK DİJİTAL YÜZEY MODELİ ÜRETİMİ VE KALİTE ANALİZİ

4.1 DİJİTAL YÜZEY MODELİ ÜRETİMİ METODOLOJİSİ

Radargrametride interferometriden farklı olarak SAR sensörleri arasındaki baz uzaklık oldukça fazladır ve genellikle 5° ile 45° arasında değişebilmektedir. Buna rağmen aralarında daha yüksek bakış açısı farkı olan stereoskopik SAR görüntü çiftleri de oluşturmak mümkündür. Hatta aynı bölgenin farklı yönlerden alınmış SAR görüntü çiftleri de kullanılarak radargrametrik yöntemleri ile yükseklik modelleri çıkarılabilmektedir (Toutin vd. 2013; Bouali vd. 2017; Perko vd. 2017). Radargrametrik yöntem için optimum görüntü çifti zıt yönlerden alınmış görüntü çifti olmasına rağmen büyük geometrik ve radyometrik problemlere yol açtığından için literatürde bahsedildiği gibi genellikle aynı yönden aralarında ciddi bir açı farkı olacak şekilde alınmış görüntü çiftleri kullanılmaktadır (Lee 2012; Balz vd. 2013; Kaur ve Sharma 2018).

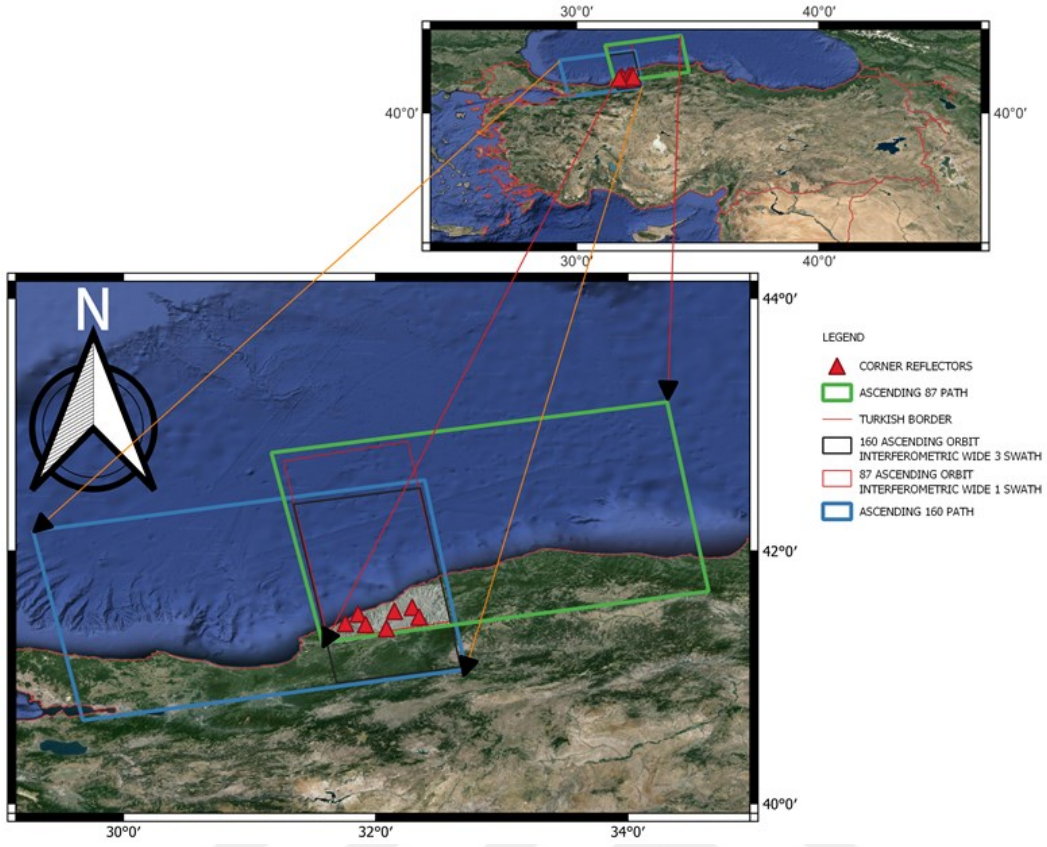
Temin edilen SAR görüntüleri üzerinde, sahada konumlandırmaları yapılmış köşe-yansıtıcı istasyon noktaları kullanılarak radargrametrik yöneltme işlemleri gerçekleştirilecek ve DYM'ler elde edilecektir. Radargrametrik işlem adımları, Envi 5.5 yazılımı Sarscape 5.5 modülünde uygulanacaktır. Şekil 4.1, DYM üretimi için kullanılacak radargrametrik işlem adımları diyagramını göstermektedir. Diyagramda, master görüntü radargrametrik görüntü çifti içinde referans görüntüyü, slave ise master görüntüye göre yöneltilecek görüntüyü tasvir etmektedir. Master görüntü olarak erken çekim tarihli SAR görüntülerinin kullanılması planlanmaktadır. Radargrametrik işlem adımları sırasında yaklaşık topoğrafya konumu gereksiniminde gerekli altlık (Coarse) DYM olarak Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) versiyon 4.0 kullanılacaktır. 11-22 Şubat 2000 tarihleri arasında yeryüzünün tamamına yakınına 60° Kuzey ve 56° Güney enlemleri arasında 3B olarak modellemiş olan SRTM misyonu interferometri ve radargrametri uygulamalarında halen en sık kullanılan altlık DYM'dir ve radar yazılımlarının modüllerinde doğrudan sunulmaktadır (Sefercik vd. 2018).



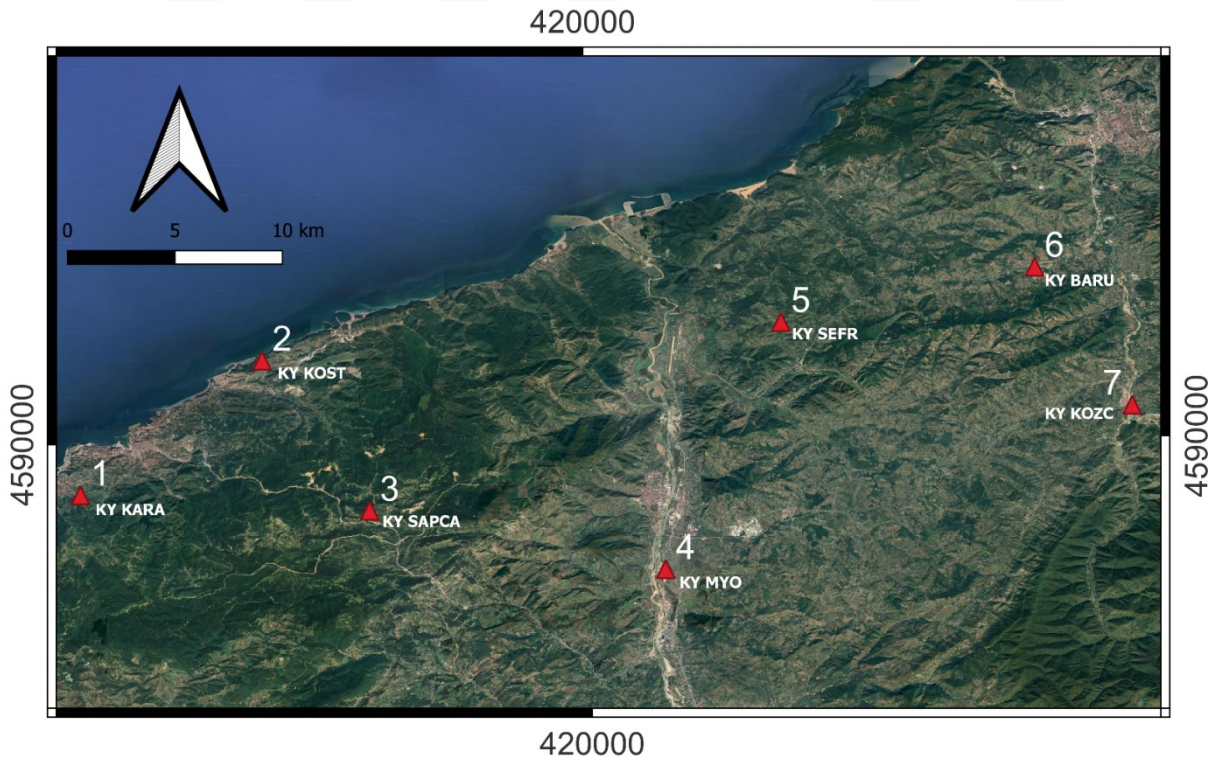
Şekil 4.1 Radargrametrik DYM üretimi işlem adımları.

4.2 ÇALIŞMA ALANI VE KÖŞE-YANSITICI DAĞILIMI

Çalışma alanı Şekil 4.2’de görülebileceği üzere, Zonguldak-Bartın bölgesi belirlenmiştir. Sentinel-1 yükselen yörüngelerin 87 ve 160 yörünge alımlarının örtüşen alanları test sahasıdır. Test alanında ormanlık alanlar, şehir yerleşimleri ve açık alanlar bulunmaktadır. Verilerin üretiminde ve hesaplanmasında Universal Transverse Mercator (UTM) dilim numarası 36 datumu kullanılmıştır. Ortometrik yükseklik 835 metreye kadar çıkmaktadır.



Şekil 4.2 Zonguldak-Bartın çalışma alanı ve istasyon ağı.



Şekil 4.3 7 adet köşe-yansıtıcı istasyon olarak dağılımı.

Köşe-yansıtıcıların her biri ayrı bir istasyon olarak tesis edildi ve hedef uyduya yönlendirildi. Köşe-yansıtıcıların çalışma alanındaki dağılım geometrisi uydu geçiş geometrisine uygun olacak şekilde ve köşe-yansıtıcıların olabildiğince radyal ve SAR görüntülerine düzgün dağılmış nitelikte olmasına önem verildi. Dağılımda ayrıca köşe-yansıtıcıların görüntülerde daha net farkedilebilmesi için açık alanda olmalarına dikkat edildi. Burada 50m kadar yarıçapta yüksek ve yansıtımı olumsuz etkileyecek bina, yüksek ağaç, deniz vb. obje bulunmamasına özen gösterildi. Bir diğer konu ise sahada sabitleme yapılacağından köşe-yansıtıcının güvenli bir konumda olmasıdır. Köşe yansıtıcıların güvenli bir konumda olabilmeleri için Üniversite yerleşkeleri başta olmak üzere uygun konumlara uygulandı. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi Zonguldak Kozlu ilçesi Kılıç mahallesine 1 adet, Kilimli Radartepe mevkiine 1 adet Zonguldak Elvanpazarcık beldesi Celepcioğlu beldesine 1 adet, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Çaycuma MYO 1 adet, Zonguldak Çaycuma ilçesi Ramazanoğlu köyüne 1 adet, Bartın Üniversitesi Kutlubey kampüsüne 1 adet ve son olarak Bartın Kozcağız ilçesi Orman Şefliği depo alanına 1 adet olmak üzere toplamda 7 adet istasyonlaması yapıldı.



Şekil 4.4 7 adet istasyona ait kurulum sonrası görüntüleri.

4.3 DİJİTAL YÜZEY MODELİ KALİTE METRİKLERİ

Model bazlı analizler yardımıyla raster yapıdaki DYM'lerin her bir pikseli kalite değerlendirme analizlerine katılmış olacaktır. Uzaktan algılanan veriler kullanılarak üretilen üç boyutlu (3B) modellerin kalitesi, genel olarak global navigasyon uydu sistemleri (GNSS) ölçümleri ile sahada toplanan yer kontrol noktalarının (YKN) nokta-bazlı konum değerlendirmesi yaklaşımı ile ortaya konmaktadır. Ancak sınırlı sayıda YKN ile yapılan nokta-bazlı değerlendirme, 3B uzaktan algılama sonuç ürünlerinin doğruluğunu değerlendirmek için yeterli değildir. Bu yöntem, özellikle ani değişken, eğimli topoğrafyalarda yanıltıcı sayısal sonuçlara ve yorumlara yol açabilmektedir. En güvenilir sonuçlara ulaşmak için, raster modelin tüm piksellerini

doğruluk hesaplamasına dahil eden bir yöntem gereklidir. Bu bağlamda, en uygun teknik, test edilen modelin referans bir modelle model-bazlı karşılaştırmasıdır. Referans model seçilirken, aşağıdaki kriterler mutlaka göz önünde tutulmalıdır: (i) referans model, dikkate değer bir boşluk yada distorsiyon içermeksizin tüm çalışma alanını kapsamalıdır; (ii) referans modelin çözünürlüğü test edilen modele eşit veya daha yüksek olmalıdır; ve (iii) referans modelin mutlak konum doğruluğu, test edilen modelinkinden üstün olmalıdır. Özellikle (ii) ve (iii) koşulları, çalışma alanının büyüklüğü ve mevcut haritalama teknolojileri göz önünde bulundurularak, oluşturulacak uzay kaynaklı radargrametrik modellerin fotogrametri tekniği ile elde edilen bir DYM referanslığında kalite değerlendirme analizlerinin yapılmasına karar verilmiştir. Bu doğrultuda, Harita Genel Müdürlüğü tarafından 2013 yılı fotogrametrik uçuş verileri ile üretilmiş 5m gridli DYM'nin (seviye 0 SYM5) referans olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Referans DYM, %90 güven aralığında $\pm 3m$ mutlak düşey doğrulukta yükseklik verisi sunmaktadır. Çalışma alanı hızlı gelişen bir yapıda olmadığından 2013 yılından günümüze herhangi önemli bir topoğrafik değişim yaşanmamıştır.

DYM'lerin değerlendirilmesinde, ilk olarak gerekli ön işlemler gerçekleştirilecektir. Tüm DYM'lerin koordinat sistemi, yatay ve düşey datumu referans modelle eşitlenecektir. Ortak koordinat sistemi olarak Evrensel Enlem Merkatoru (UTM), yatay datum olarak Dünya Jeodezik Sistemi 1984 (WGS84) ve düşey datum olarak ortometrik yükseklikler kullanılacaktır. DYM'ler yatay ve düşey konum doğruluğu olarak analiz edilecektir. Doğru düşey konum doğruluğu değerlendirmesinin ana kuralı karşılaştırılan DYM'lerin %100 yatay örtüşümüdür. Bu nedenle ilk olarak üretilen DYM'lerin referansa göre X ve Y yönlerinde yatay konum doğrulukları tespit edilecek ve yatay kayıklıklar, alan tabanlı çapraz korelasyon tekniği ile öteleme yöntemiyle elemine edilecektir (Baltsavias 1999; Alobeid vd. 2010). Tam olarak yatay örtüşme sağlandıktan sonra düşey doğruluk değerlendirmelerine geçilecektir. Model bazlı DYM kalite değerlendirmesinde mutlak düşey konum doğrulukları, piksel bazlı yükseklik farklılıklarına bağlı standart sapma (STD) ve normalize medyan mutlak sapma (NMMS) uluslararası standartlarına göre hesaplanacaktır (denklem 4.1 ve 4.2). Arazi eğiminin STD üzerindeki etkilerini görebilmek için, arazi eğim fonksiyonu da denklemlere dahil edilerek eğim etkisi ayrıca hesaplanacaktır (denklem 4.3).

$$STD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_i - \mu)^2}{n - 1}} \quad (4.1)$$

$$NMMS = 1.4815 \times \tilde{x}_i [|\Delta Z_i - \tilde{x}_j(\Delta Z_j)|] \quad (4.2)$$

$$STD_{eğim} = STD + b \times \tan(\alpha) \quad (4.3)$$

Denklem 4.1’de μ , analiz edilen model ile referans model arasındaki piksel bazlı yükseklik farklılıklarının (ΔZ) aritmetik ortalamasını yani sistematik hatayı, n ise karşılaştırılan piksel sayısını ifade etmektedir. Denklem 4.2’de ise $\tilde{x}_j, (\Delta Z_1, \Delta Z_2, \dots, \Delta Z_n)$ yükseklik farklarının tek değişkenli veri setinin medyanını, $\tilde{x}_i$ ise $\tilde{x}_j$ ’den olan yükseklik farklarının medyan değerini ifade eder. Denklem 4.3’te α , arazi eğimini ve b , eğim çarpanını ifade etmektedir.

NMMS, majör yükseklik farklılıklarının ortaya konması için robust bir doğruluk metriği olmasına rağmen minör yükseklik farklarını ortaya koyma anlamında STD kadar performanslı değildir (Hellerstein 2008). Yükseklik farklılıklarının düzenli dağılımında NMMS ve STD’nin birbirine çok yakın değerde olması ya da NMMS’in daha küçük olması beklenir (Höhle ve Höhle 2009). Doğruluğu değerlendirilen modelde düzensiz hata dağılımına sebep olan bir yapı var ise NMMS değeri STD’den büyük çıkacaktır. Bu durum anormal dağılımı işaret eder ve mutlak düşey doğruluk analizlerinde test edilen modelin rastlantısal majör hatalar içerdiğini gösteren istenmeyen bir durumdur. Böyle bir durumda, 3B modelin üretim teknikleri ve kullanılan parametreler gözden geçirilecektir. Analizlerde, yükseklik farklılıklarının doğrusal bir fonksiyonu olan sistematik hatalar lineer regresyon ile belirlenecektir (Yang ve Chen 2012). Mutlak düşey doğruluklar, sistematik hatalar düşey öteleme ile elemin edildikten sonra (bias eliminasyonu) hesaplanacaktır.

Mutlak düşey doğruluk analizlerinde, referans ve analiz edilen DYM’nin, frekans, STD ve NMMS yükseklik hata dağılım grafikleri üretilerek yorumlanacaktır. Bu grafiklerde, frekans ile STD ve NMMS uyumlarına göre DYM’lerin hata yapısı analiz edilecektir. Referans ve analiz edilen DYM’nin renkli diferansiyel yükseklik hata haritaları (DiffDYM) üretilerek modelin hatalı bölgeleri görselleştirilecek ve hatalı kısımlardaki hata kaynakları sınıflandırma haritası ve GoogleEarth görüntüsü üzerine bindirme ile sorgulanacaktır. DifDYM üretimi için piksel bazında kullanılacak formül denklem 4.4’da sunulmuştur.

$$DiffDYM = DYM_{test} - DYM_{ref} \quad (4.4)$$

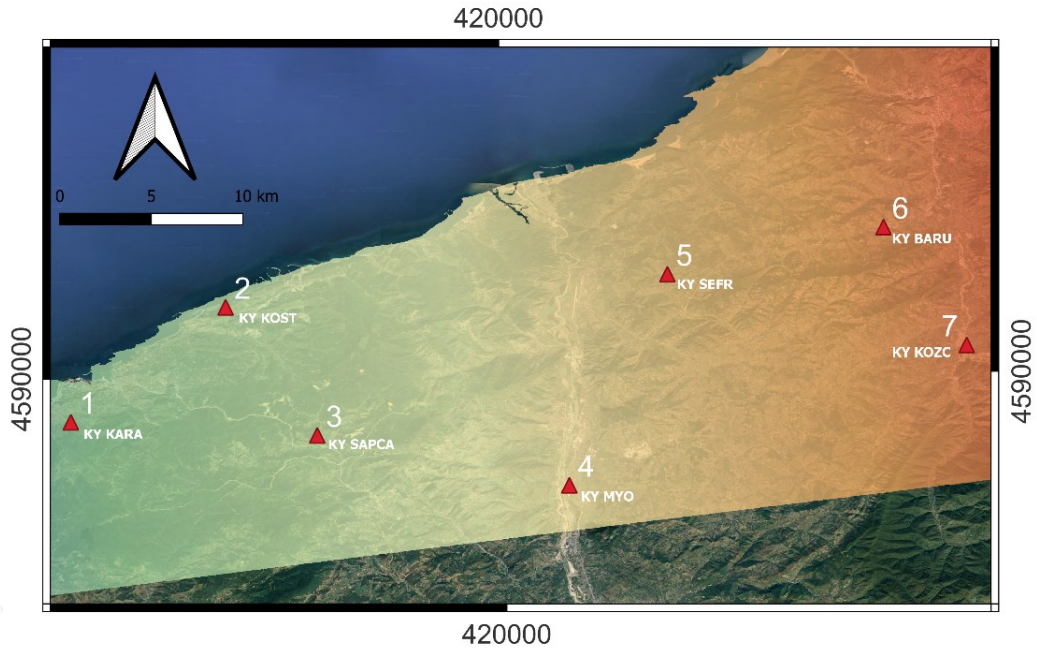
4.4 RADARGRAMETRİK DİJİTAL YÜZEY MODELİ ÜRETİMİ

SARscape radargrametrik DYM'lerin üretiminde, master ve slave görüntülerin ortak görüntülediği ve yöneltildiği alanların topoğrafyasını üretir. Topografya, çapraz korelasyon ve Range-Doppler denklemleri ile çözümlendiği eşleştirme işlemi sırasında oluşturulur. SARscape'in model üretiminde, normalleştirilmiş çapraz korelasyon ve Range-Doppler denklemleri tarafından gerçekleştirilen ayarlama, Goblirsch ve Pasquali'nin (1996) anlattıkları gibi süreçte kilit bir role sahiptir.

Sentinel 1A misyonun 87 ve 160 yükselen geçişlerinin KY yöneltmek için azimut açılarını doğrudan almanak verilerinden elde ederken, bakış açısı olarak tanımlanan yükselme açısının tümüleri olan açıyı anlık uydu sistemlerinin geçişleri ile ilgili bilgi veren websitelerinde tek bir açı ile ifade edilmektedir. Ancak SAR uydu misyonları algılama geometrilerinden dolayı, yan-bakışlı geometriye sahip olduklarından, görüntüleme yaptıkları alanlar da farklı açı değerleriyle sinyal gönderimi ve alımı yapmakta ve bunları görüntüye aktarmaktadırlar. Netice bizim çalışma alanımızda elipsoide göre geçiş aralığı 87 yükselen yörüngede 31-48 derece, 160 yükselen yörüngesinde 42-58 derece arasında algılama gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra bakış açısı yüzey normaliyle gelen sinyalin arasındaki değer olduğunu hatırlatarak, topoğrafya eğiminde bağlıdır. Topoğrafya eğimine bağlı olarak hesaplanan bakış açıları ile üretilmiş olan model mevcuttur. Bu geometrik açı farklılıkları göz önüne alındığında single look complex (SLC) bir veride iki geçiş içinde Yer Kontrol Noktası (YKN) olarak işaretleyebileceğimiz KY modelleri üretilmiştir.

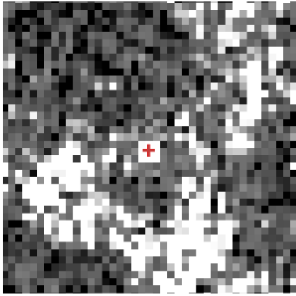
4.4.1 Radargrametrik Dijital Yüzey Modeli Üretimi Elipsoidal Bakış Açısına Yöneltilme

Köşe-yansıtıcının uydu bakışına göre yöneltmesinde elipsoidal bakış açısına göre yöneltildiği ve matematiksel olarak köşe-yansıtıcının yansıma yüzeyine dik gelecek şekilde hesaplanmasından Şekil 4.5'dan sonra oluşan değerlere göre geri saçılma piksel değerlerinin görselleri aşağıdaki gibidir.

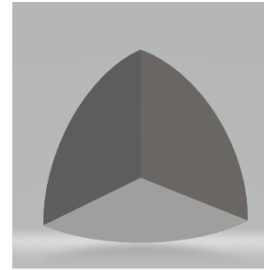
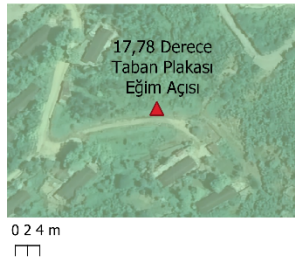
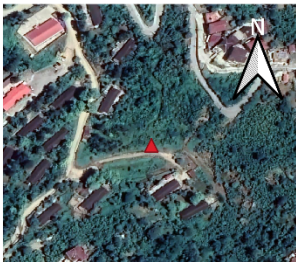
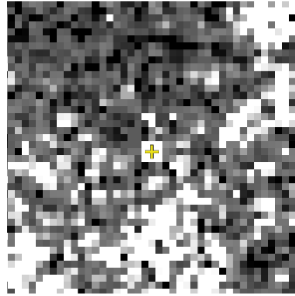


Şekil 4.5 Elipsoidal bakış açısına göre hesaplanmış yansıtım modeli.

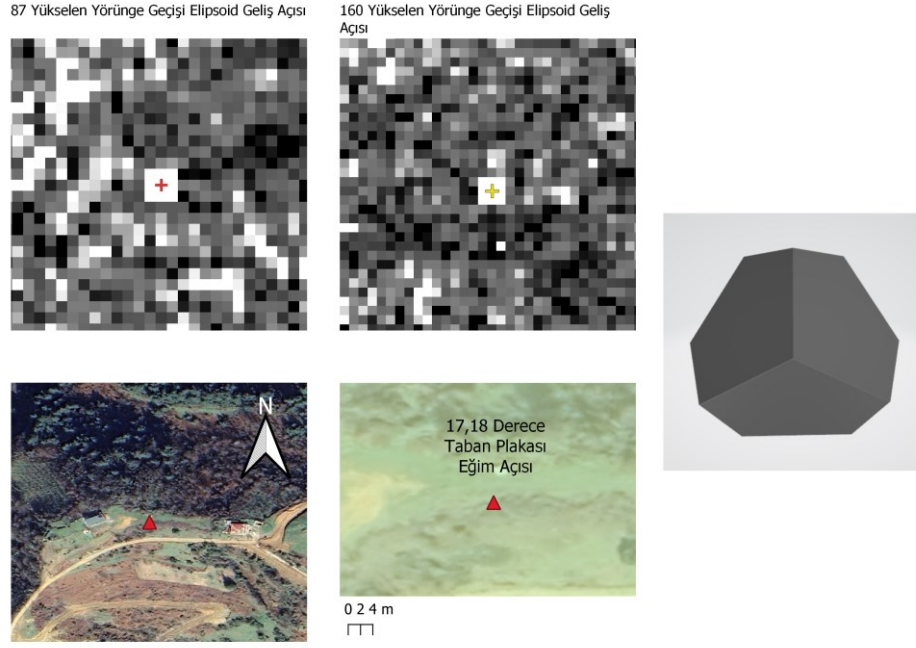
87 Yükselen Yörünge Geçiş Elipsoid Geliş Açısı



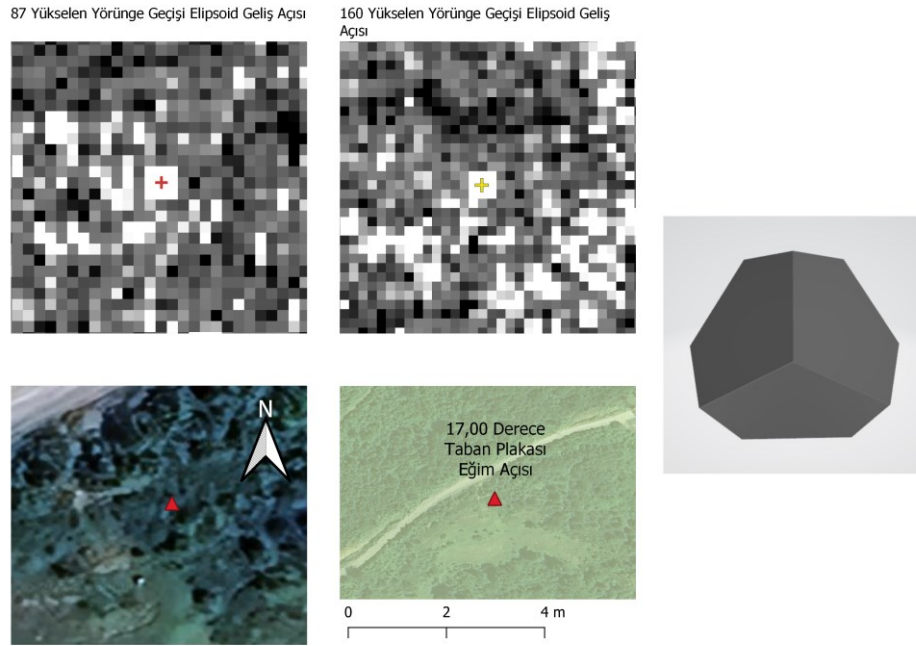
160 Yükselen Yörünge Geçiş Elipsoid Geliş Açısı



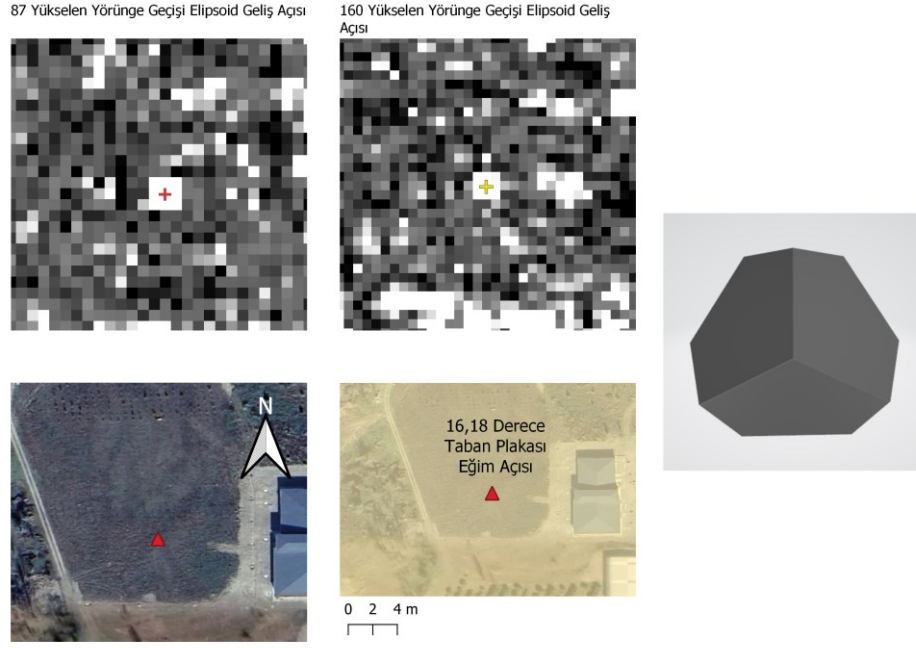
Şekil 4.6 KY Kara istasyonu geri saçılma değerleri.



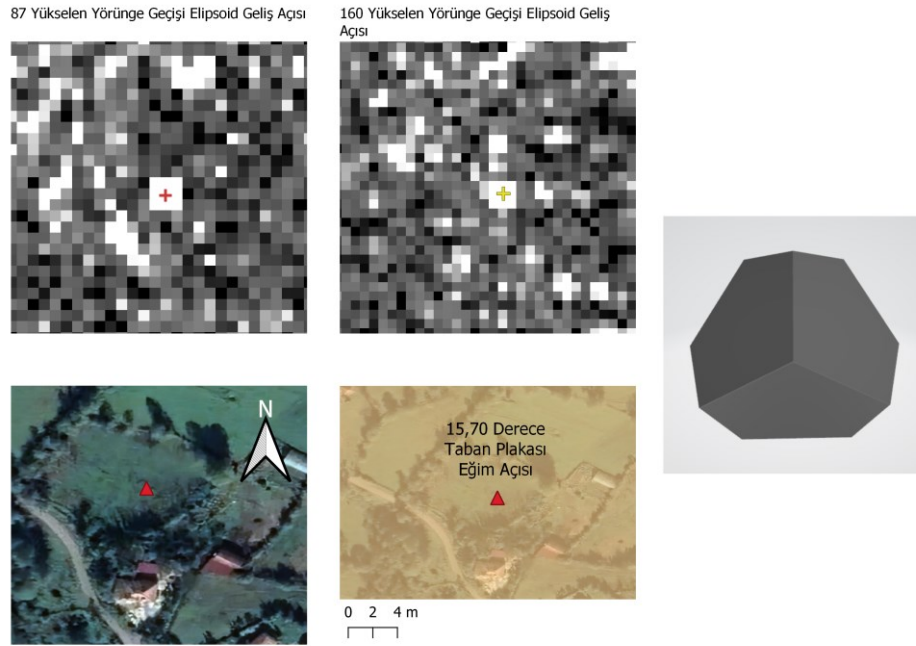
Şekil 4.7 KY Kost istasyonu geri saçılma değerleri.



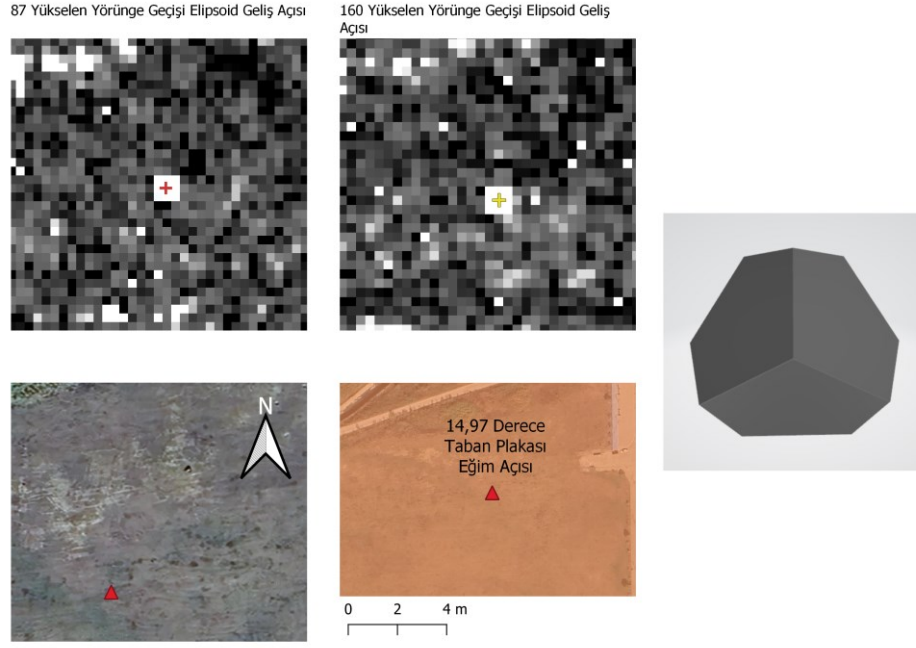
Şekil 4.8 KY Sapça istasyonu geri saçılma değerleri.



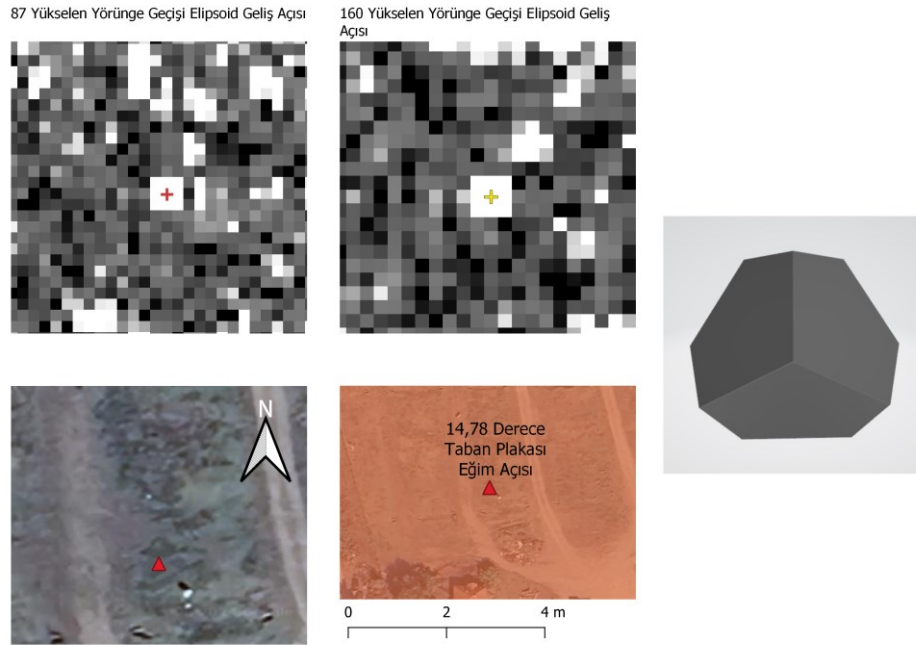
Şekil 4.9 KY MYO istasyonu geri saçılma değerleri.



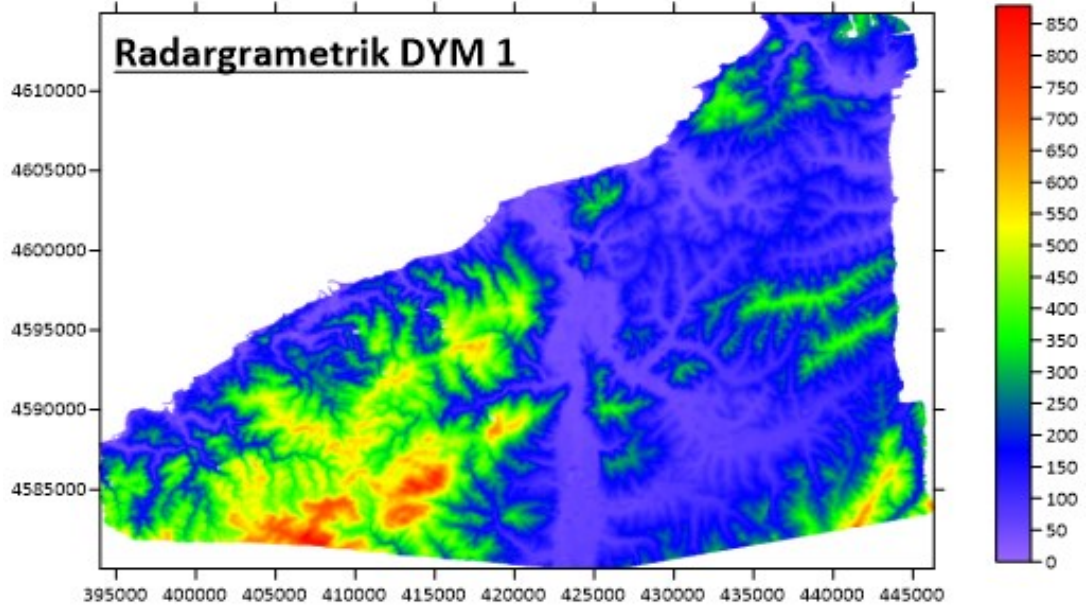
Şekil 4.10 KY Sefercik istasyonu geri saçılma değerleri.



Şekil 4.11 KY BARÜ istasyonu geri saçılma değerleri.



Şekil 4.12 KY Kozcağz istasyonu geri saçılma değerleri.

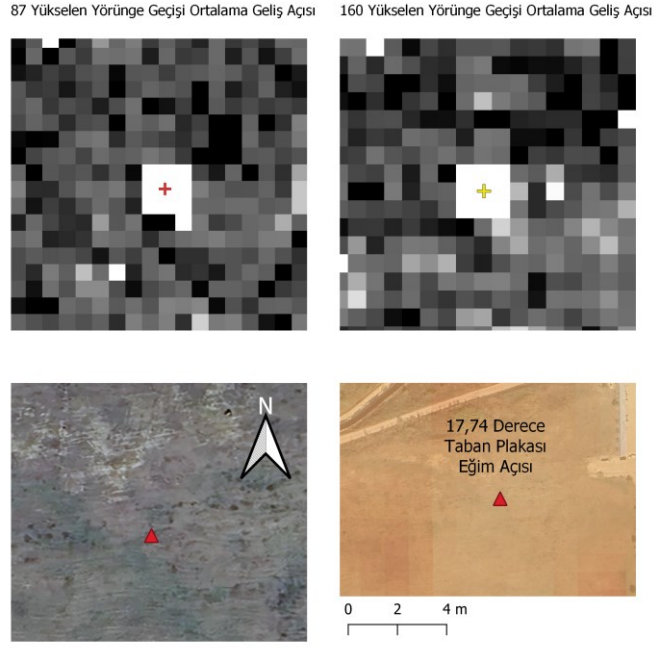


Şekil 4.13 Elipsoidal bakışa göre KY yöneltmesi sonucu elde edilen DYM.

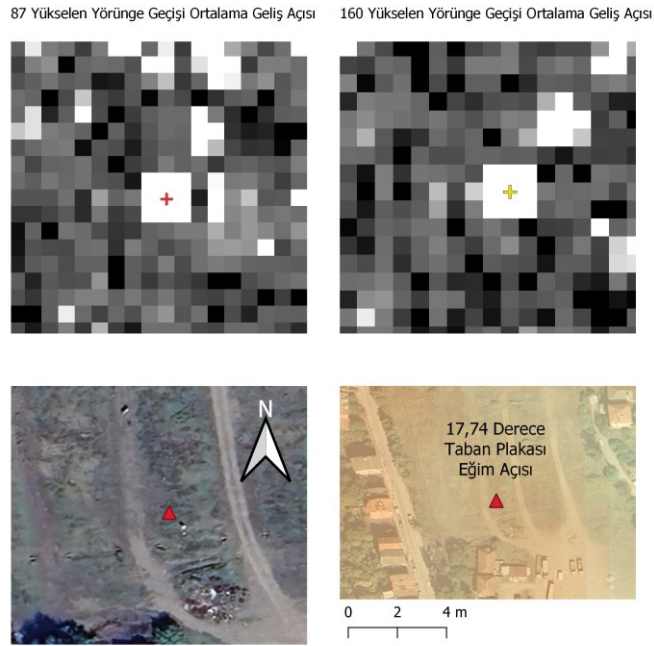
Elipsoidal bakış açısına göre yapılan yöneltmeler neticesinde elde edilen radargrametrik DYM Şekil 4.13’de gösterilmiştir.

4.4.2 Radargrametrik Dijital Yüzey Modeli Üretimi Görüntüleme Bakış Açısına Yöneltme

Almanak uydu geçiş bilgilerinin paylaşıldığı n2yo ve Heaven-above vb. sitelerden elde edilen bakış açısına göre yöneltildiği ve matematiksel olarak köşe-yansıtıcının yansımaya yüzeyine dik gelecek şekilde hesaplanmasından sonra oluşan tek bir değere 17.74 dereceye göre geri saçılma piksel değerlerinin görselleri aşağıdaki gibidir.

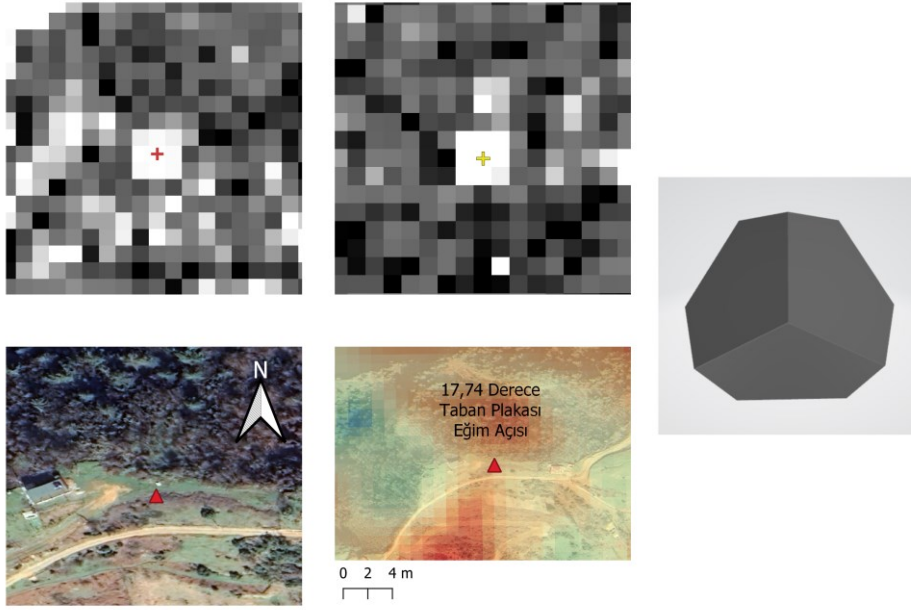


Şekil 4.14 KY BARÜ istasyonu geri saçılma değerleri.



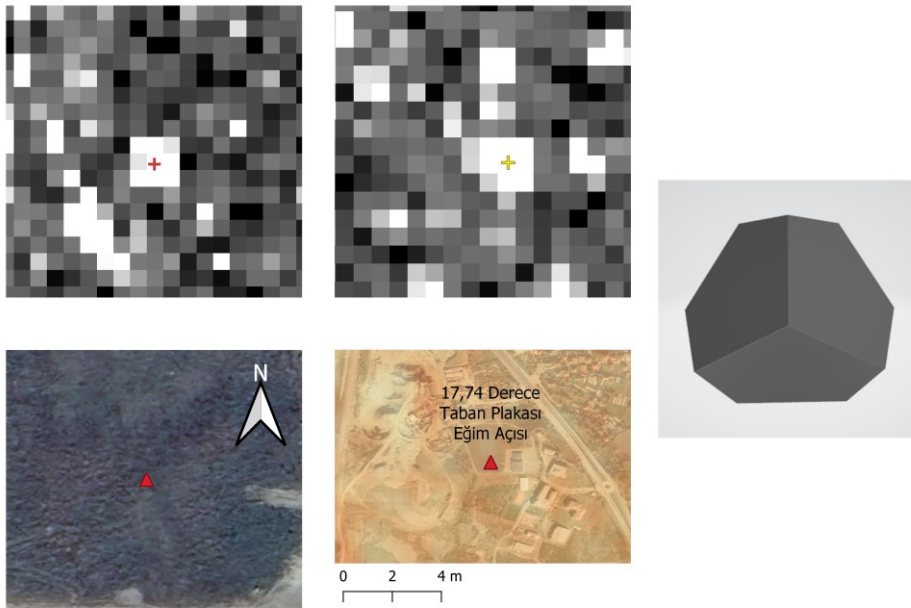
Şekil 4.15 KY Kocağız istasyonu geri saçılma değerleri.

87 Yükselen Yörünge Geçiş Ortalama Geliş Açısı 160 Yükselen Yörünge Geçiş Ortalama Geliş Açısı

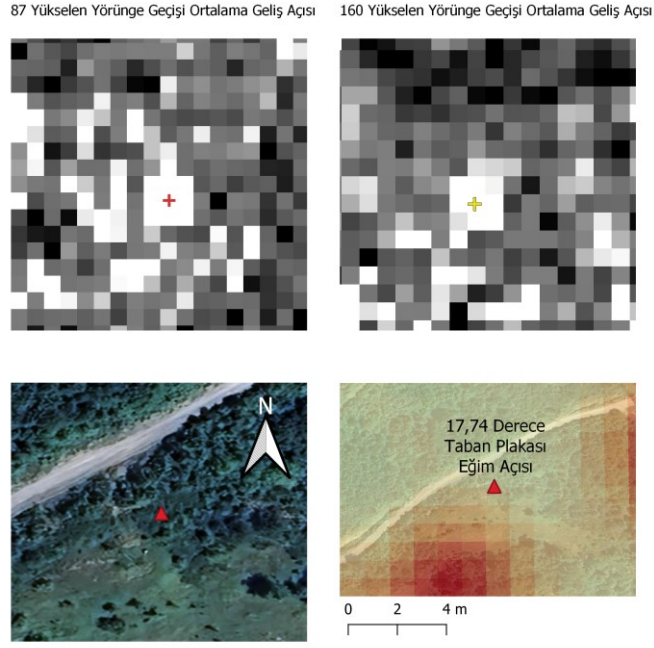


Şekil 4.16 KY Kösterit istasyonu geri saçılma değerleri.

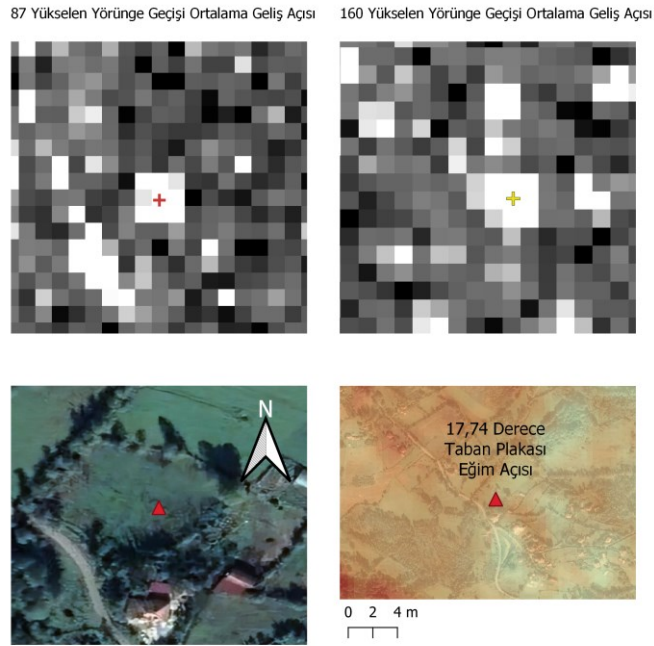
87 Yükselen Yörünge Geçiş Ortalama Geliş Açısı 160 Yükselen Yörünge Geçiş Ortalama Geliş Açısı



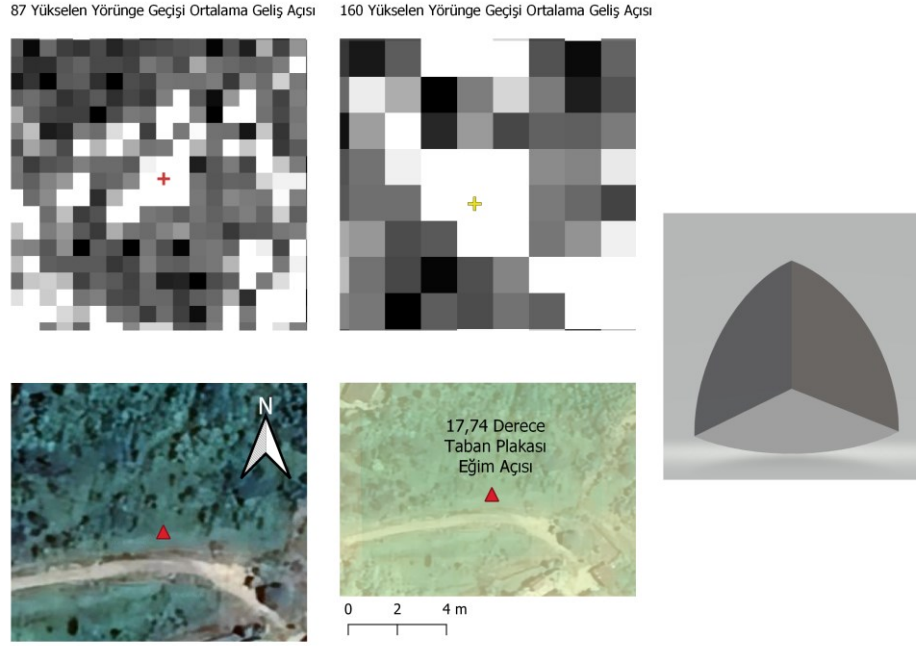
Şekil 4.17 KY Çaycuma MYO istasyonu geri saçılma değerleri.



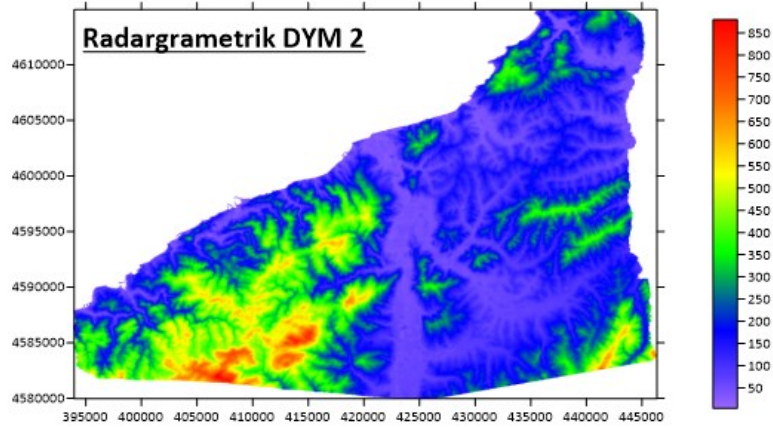
Şekil 4.18 KY Sapça istasyonu geri saçılma değerleri.



Şekil 4.19 KY Sefercik istasyonu geri saçılma değerleri.



Şekil 4.20 KY Kara istasyonu geri saçılma değerleri.



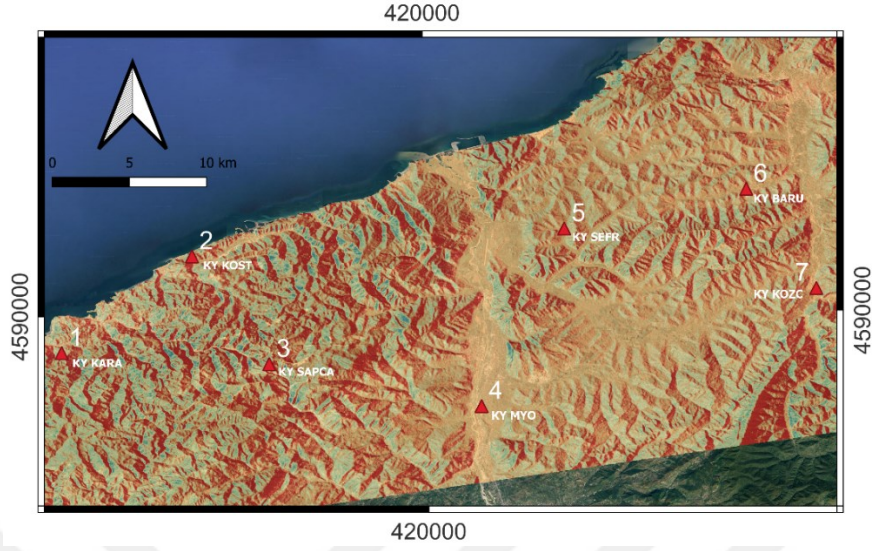
Şekil 4.21 Almanak paylaşılan bakışa göre KY yöneltmesi sonucu elde edilen DYM.

Almanakta paylaşılan bakış açısına göre yapılan yöneltmeler neticesinde elde edilen radargrametrik DYM Şekil 4.21’de gösterilmiştir.

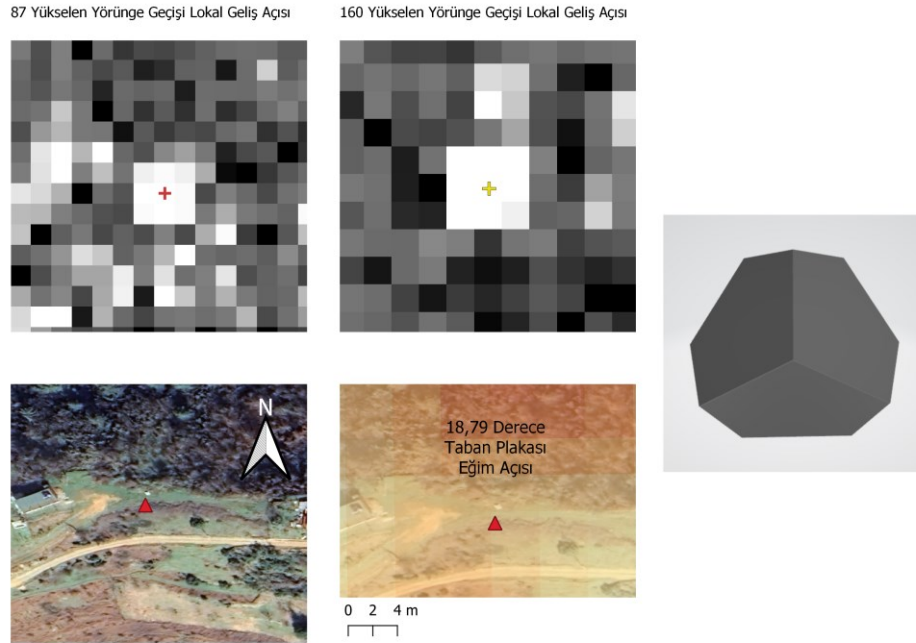
4.4.3 Radargrametrik Dijital Yüzey Modeli Üretimi Lokal Bakış Açısına Yöneltme

Köşe-yansıtıcının uydu bakışına göre yöneltmesinde lokal bakış açısına göre yöneltildiği ve matematiksel olarak köşe-yansıtıcının yansıma yüzeyine dik gelecek şekilde hesaplanmasından

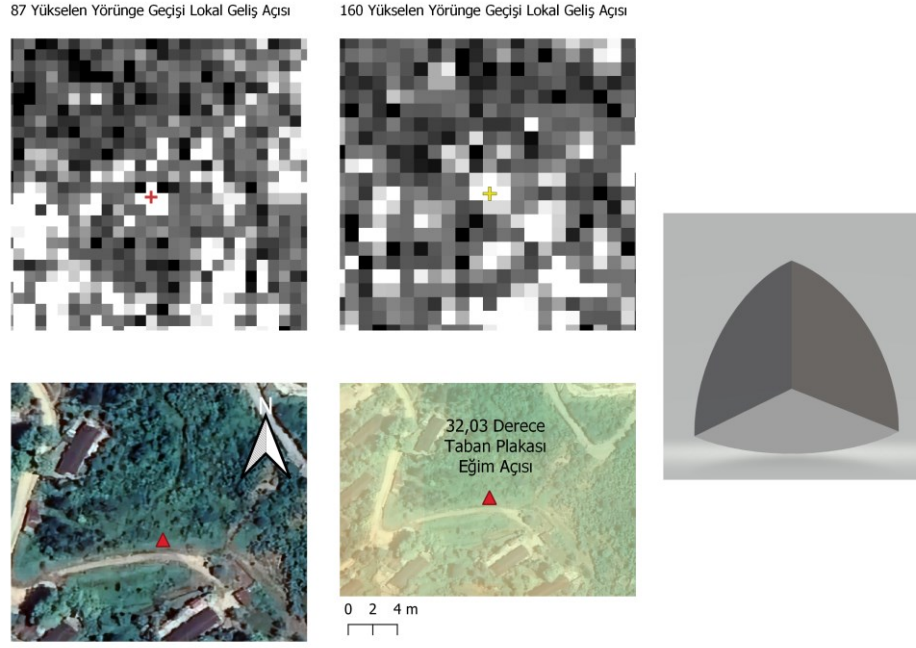
Şekil 4.22’den sonra oluşan değerlere göre geri saçılma piksel değerlerinin görselleri aşağıdaki gibidir.



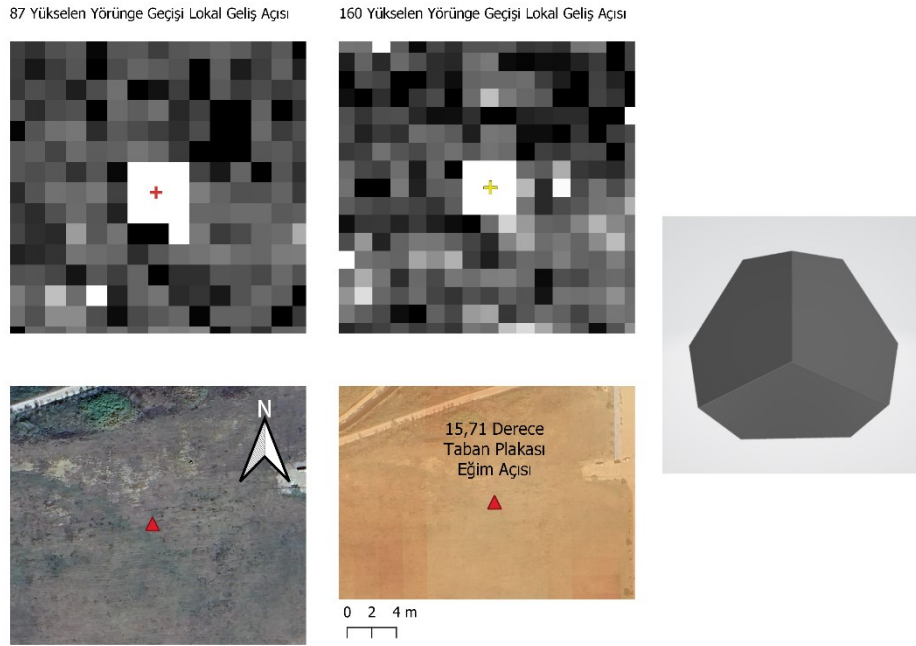
Şekil 4.22 Lokal bakış açısına göre hesaplanmış yansıtım modeli.



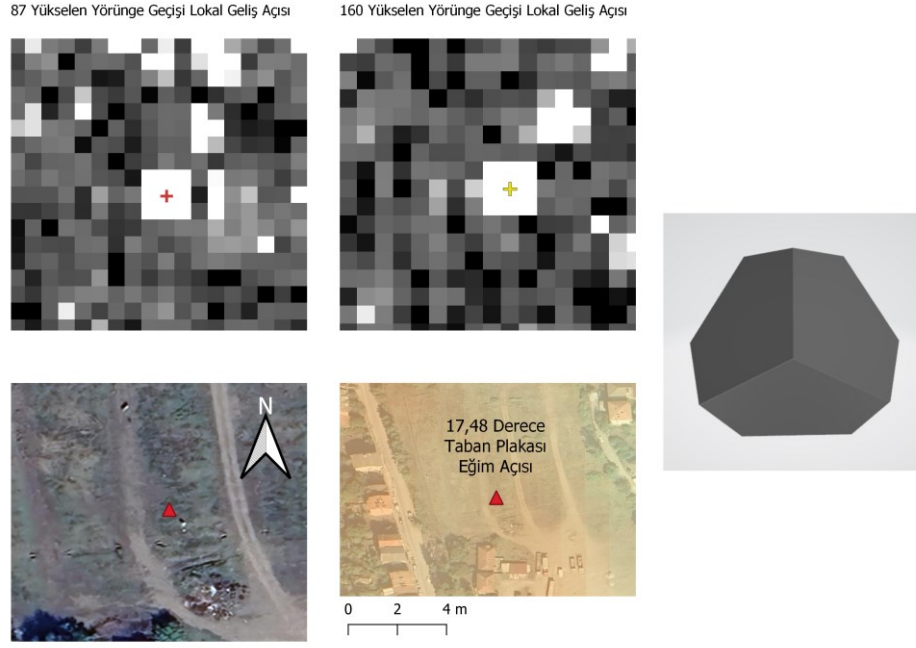
Şekil 4.23 KY Kösterit istasyonu geri saçılma değerleri.



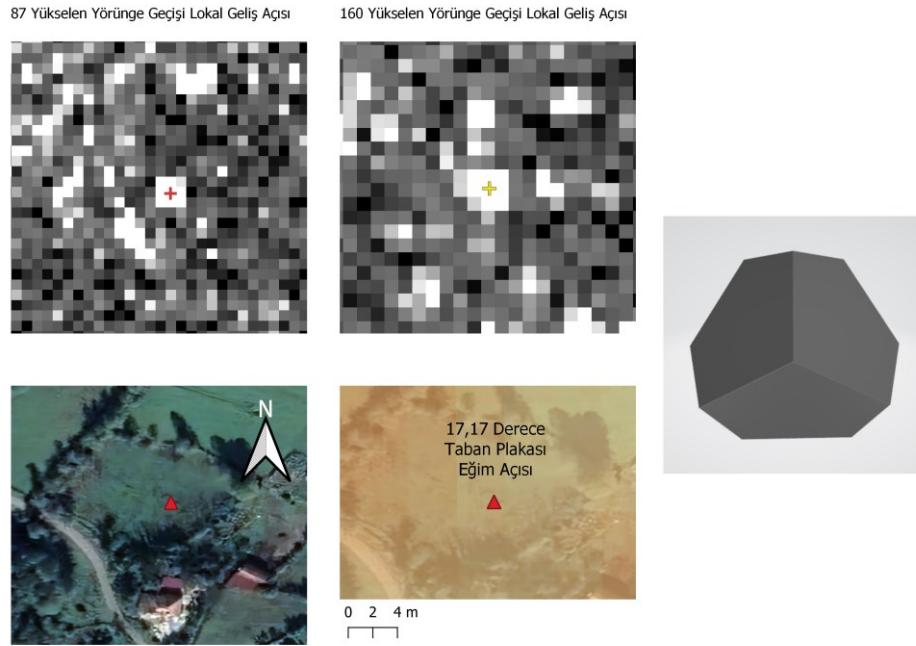
Şekil 4.24 KY Kara istasyonu geri saçılma değerleri.



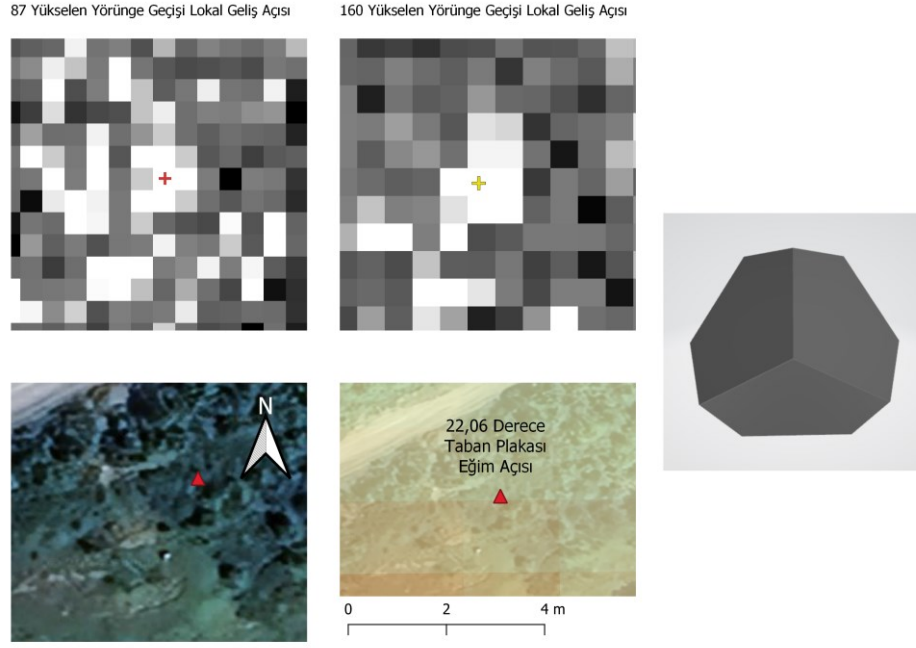
Şekil 4.25 KY BARÜ istasyonu geri saçılma değerleri.



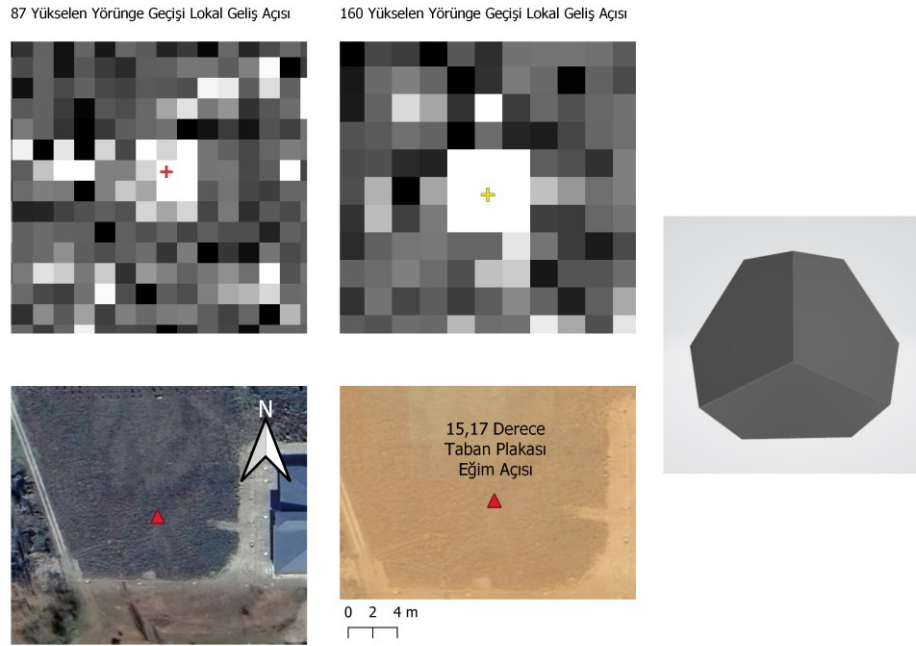
Şekil 4.26 KY Kozcağız istasyonu geri saçılma değerleri.



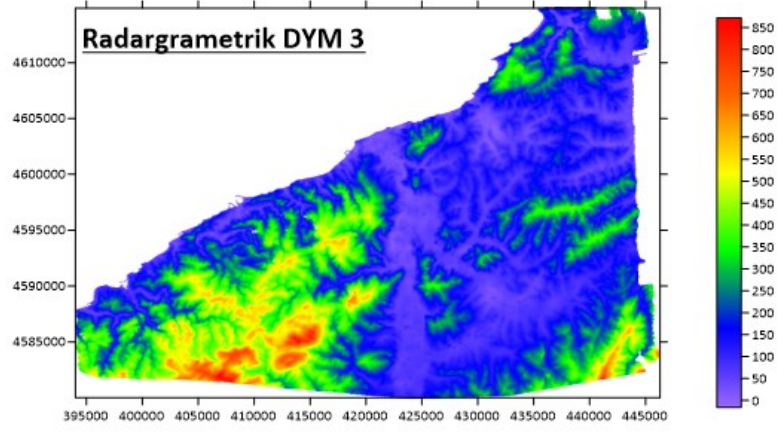
Şekil 4.27 KY Sefercik istasyonu geri saçılma değerleri.



Şekil 4.28 KY Sapça istasyonu geri saçılma değerleri.



Şekil 4.29 KY Çaycuma MYO istasyonu geri saçılma değerleri.



Şekil 4.30 Lokal bakışa göre KY yöneltmesi sonucu elde edilen DYM.

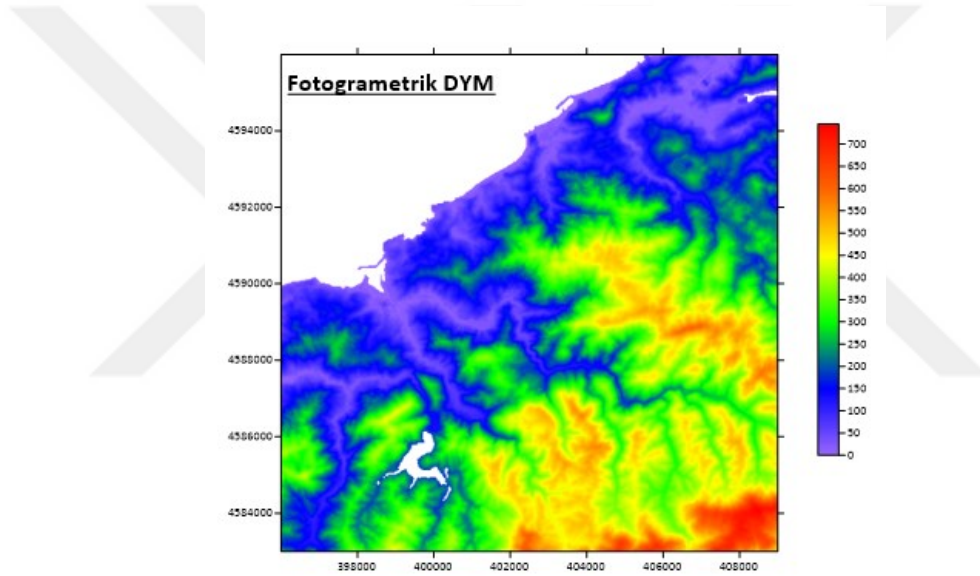
Lokal bakış açısına göre yapılan yöneltmeler neticesinde elde edilen radargrametrik DYM Şekil 4.30'de gösterilmiştir.



BÖLÜM 5

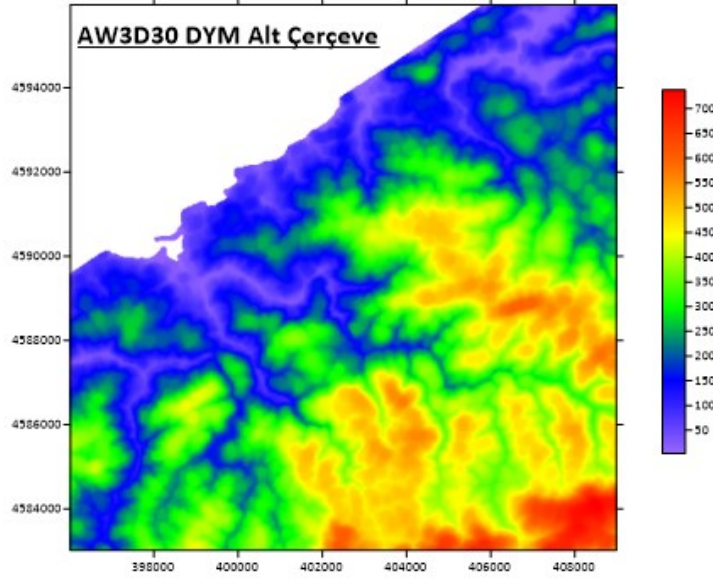
DENEYSEL SONUÇLAR

Harita Genel Müdürlüğü tarafından 2013 yılı fotogrametrik uçuş verileri ile üretilmiş 5m gridli DYM'nin (seviye 0 SYM5) referans olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Referans DYM, %90 güven aralığında $\pm 3m$ mutlak düşey doğrulukta yükseklik verisi sunmaktadır.



Şekil 5.1 Fotogrametrik DYM 5m (seviye 0 SYM5).

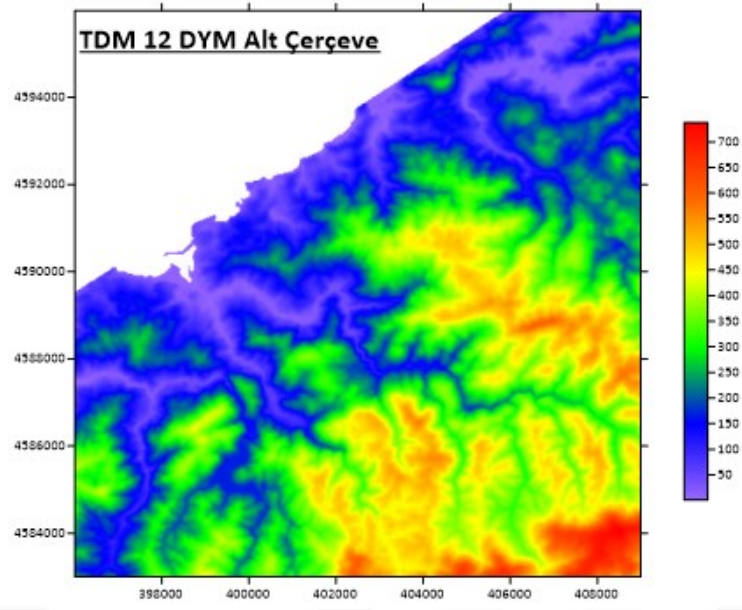
"ALOS World 3D - 30m (AW3D30)" olarak da bilinen Şekil AW3D 30 Global DEM, yaklaşık 30 metre yatay çözünürlüğe sahip küresel bir dijital yüzey modelidir (DYM). Gelişmiş Arazi Gözlem Uydusu "ALOS" üzerindeki optik bir sensör olan Stereo Haritalama için Pankromatik Uzaktan Algılama Aracı (PRISM) tarafından oluşturulmuştur. Bu veri setinin en son sürümleri 4.0, 3.2 ve 3.11'dir. Veri seti düzenli olarak iyileştirmeler ve düzeltmelerle güncellenmektedir. Nisan 2023'te, alçak ve orta enlem bölgeleri ve 60 derece güneyden Güney bölgesi için güncellemeler içeren geliştirilmiş bir sürüm (Sürüm 4.0) yayınlandı. Bu veri seti, belirli koşullar altında hem ticari hem de ticari olmayan amaçlar için ücretsiz olarak kullanılabilir.



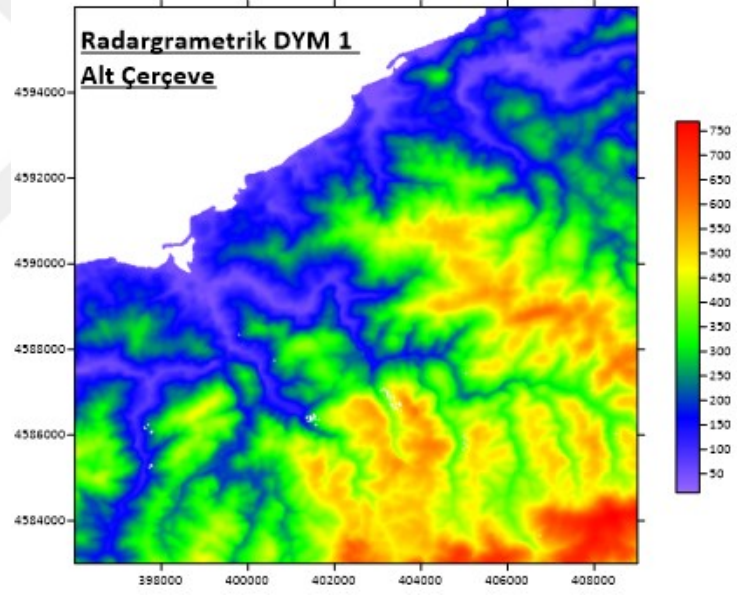
Şekil 5.2 AW3D 30 Global DEM.

TanDEM-X (Sayısal Yükseklik Ölçümleri için TerraSAR-X eklentisi), yakın formasyonda uçan neredeyse aynı iki uydu tarafından oluşturulan bir SAR interferometresinden oluşan bir Dünya gözlem radar görevidir. Uydular arasında 120m ila 500m arasında tipik bir ayrımla, küresel bir Dijital Yükseklik Modeli (DEM) oluşturulmuştur. TanDEM-X misyonunun temel amacı, Dünya'nın kara yüzeylerinin homojen kalitede ve daha önce görülmemiş doğrulukta hassas bir 3D haritasını oluşturmaktır. Veri toplama 2015 yılında tamamlanmış ve küresel DYM'nin üretimi Eylül 2016'da tamamlanmıştır. TanDEM-X 12m DYM, 2010-2015 yılları arasında Alman TanDEM-X misyonu çerçevesinde elde edilen küresel Sayısal Yükseklik Modelinin (DYM) 0,4 ark saniye (ekvatorda 12m) uzamsal çözünürlüğe sahip nominal ürün çeşididir. Kutuptan kutba Dünya'nın tüm kara parçalarını kapsamaktadır.

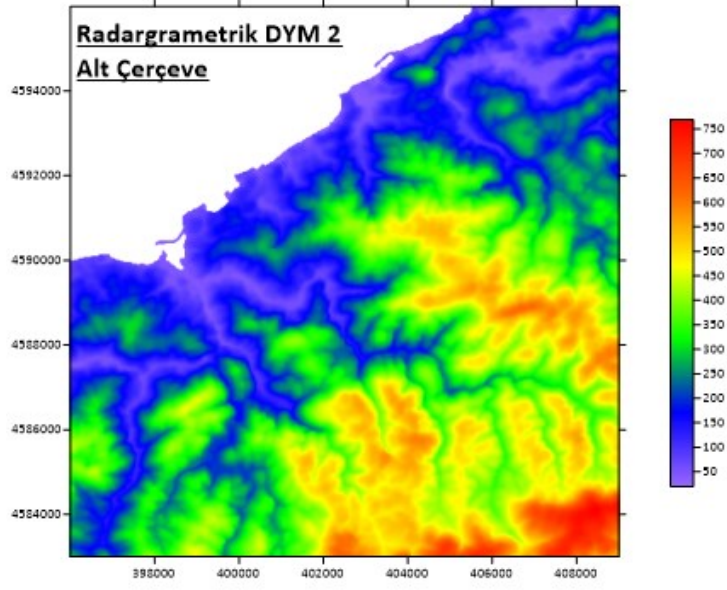
Radargrametrik olarak üretilen DYM'lerin tamamı HGM 5 m.'lik referans DYM'sinin çerçeve boyutlarında kesilerek 3B konumsal doğruluk analizine uygun hale getirilmiştir. Bu modeller Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6 da görselleştirilmiştir.



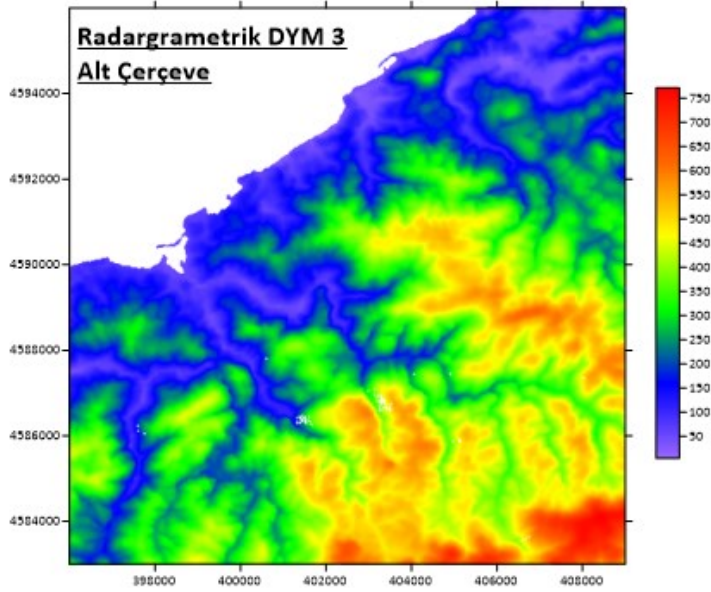
Şekil 5.3 TDM 12 DYM.



Şekil 5.4 Radargrametrik DYM 1 alt çerçeve.



Şekil 5.5 Radargrametrik DYM 2 alt çerçeve.



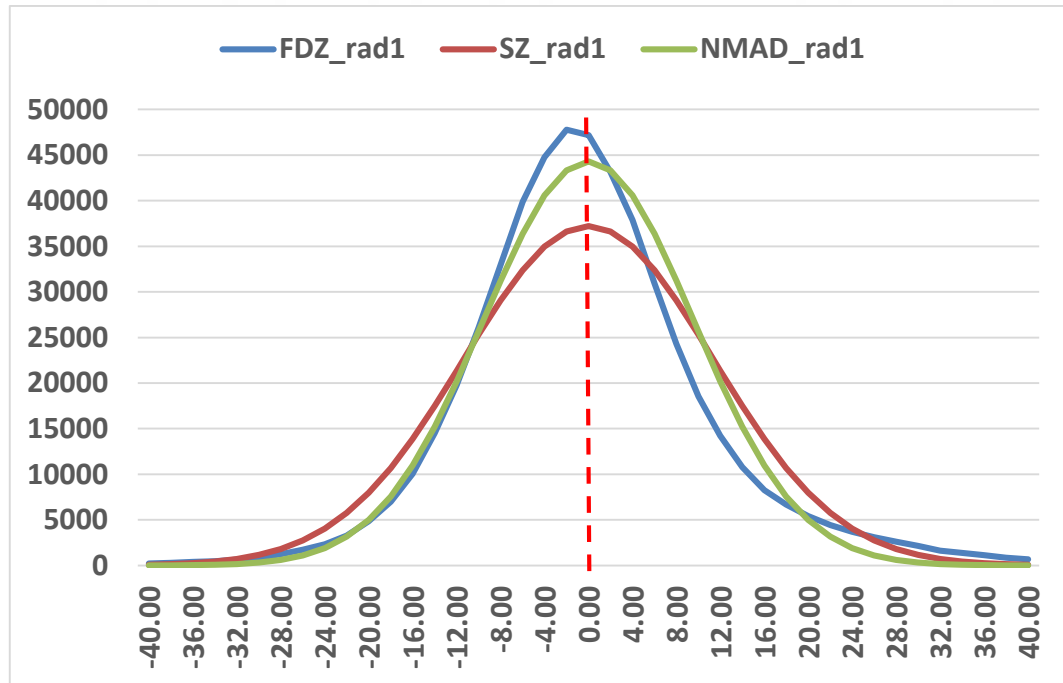
Şekil 5.6 Radargrametrik DYM 3 alt çerçeve.

5.1 DÜŞEY DOĞRULUK ANALİZİ

Düşey doğruluğun belirlenebilmesi için öncelikle yatay örtüşmenin sağlanması gerekmektedir. Bu yatay örtüşme işlemindeki ötelemeler Çizelge 5.1’de tanımlanmıştır. Radargrametrik DYM’lerdeki yatay öteleme miktarlarının diğer DYM’lere göre daha düşük çıkmasının temel sebebi araziye radyal olarak dağıtılmış olan köşe-yansıtıcıların konumsal olarak bir yer kontrol noktası (YKN) olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Diğer modeller küresel ölçekte hesaplandığından konumsal farklılıklar gözlenmiştir.

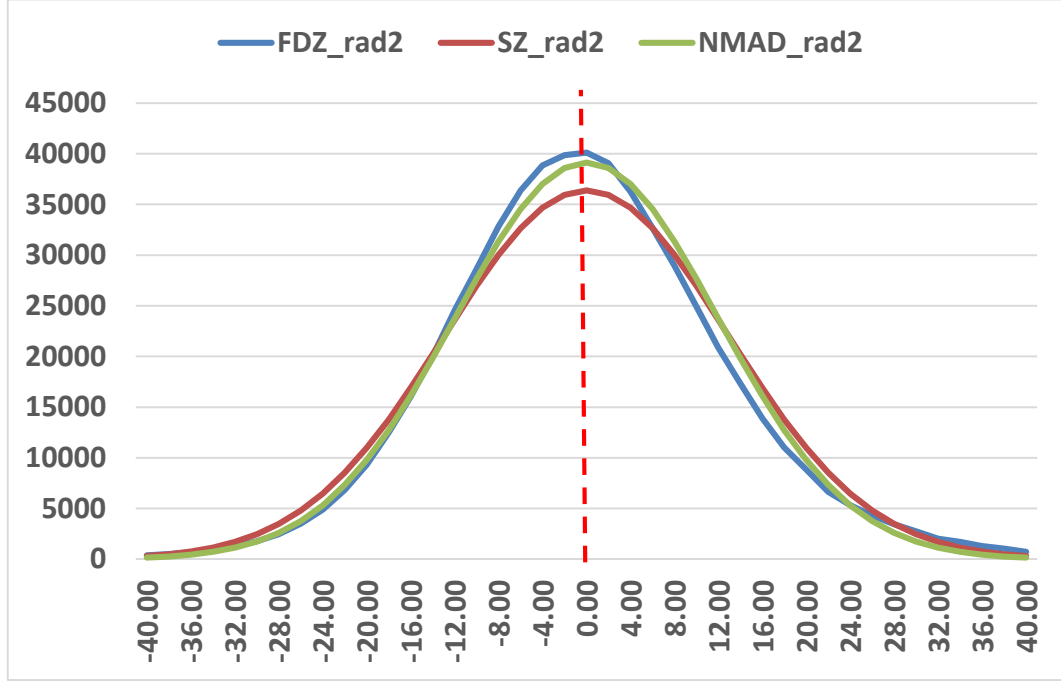
Çizelge 5.1 Radargrametrik yöntemleriyle oluşturulan modellerin yatay ötelemeleri.

Referans SYM	Ötelenen SYM	Piksel aralığı (m)	ΔX (m)	ΔY (m)
Fotogrametrik (5m)	Radargrametrik DYM 1	15	3.464591	-4.802548
	Radargrametrik DYM 2	15	3.806180	-5.056531
	Radargrametrik DYM 3	15	2.775299	-2.237925
	AW3D 30	30	-11.431558	7.922650
	TDM 12	12	-7.364718	8.610278



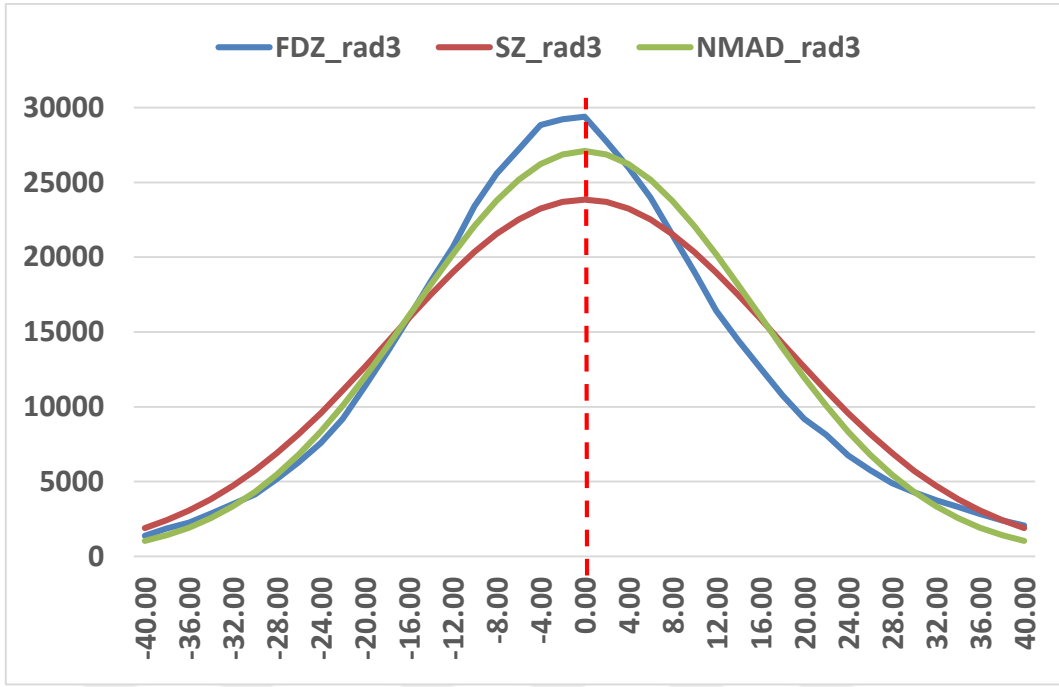
Şekil 5.7 Radargrametrik DYM1 için hataların frekans dağılımı, standart sapması ve NMMS

Radargrametrik DYM1 değerlendirme grafiği Şekil 5.7’de verilmiştir. Buna göre hataların frekans dağılımı 45 bin noktadan fazla, normalize medyan mutlak sapma (NMMS) yaklaşık 45 bin nokta ve standart sapması 35 bin noktadan fazlası ± 4 metre içerisindedir. Bu değerlendirmeler neticesinde Radargrametrik DYM1 standart sapmada 8,585 m. ve NMMS 6,863 m. doğruluk temsil edilmiştir.



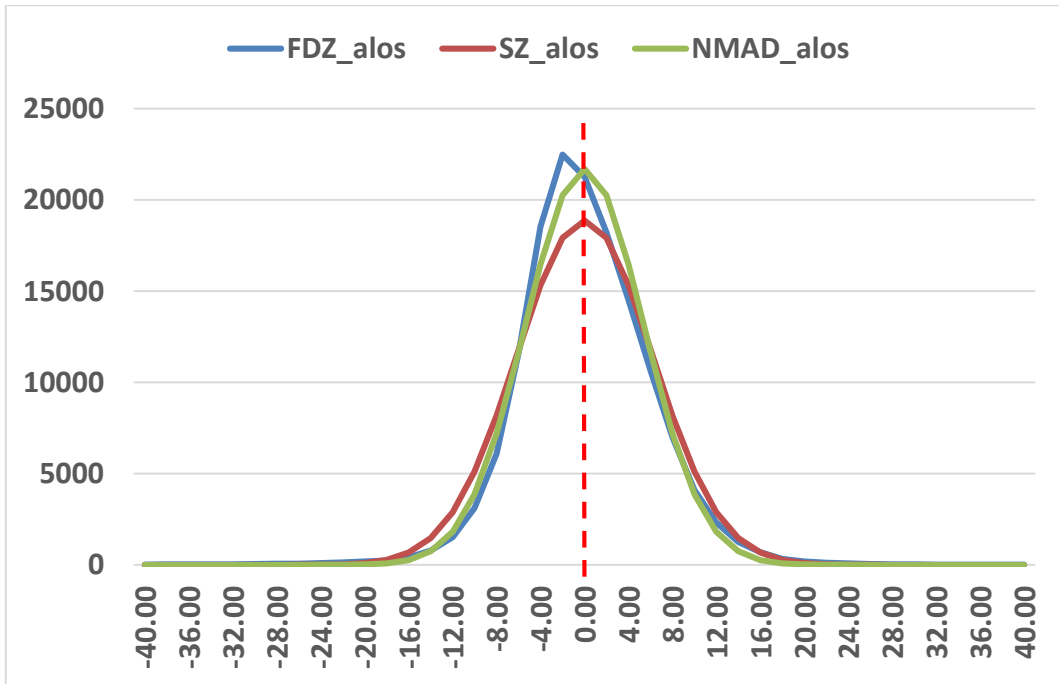
Şekil 5.8 Radargrametrik DYM2 için hataların frekans dağılımı, standart sapması ve NMMS

Radargrametrik DYM2 değerlendirme grafiği Şekil 5.8’de verilmiştir. Buna göre hataların frekans dağılımı 40 bin nokta, normalize medyan mutlak sapma (NMMS) yaklaşık 40 bin nokta ve standart sapması 35 bin noktadan fazlası ± 4 metre içerisindedir. Radargrametrik DYM2 standart sapmada 10,506 m. ve NMMS 9,369 m. doğruluk temsil edilmiştir.



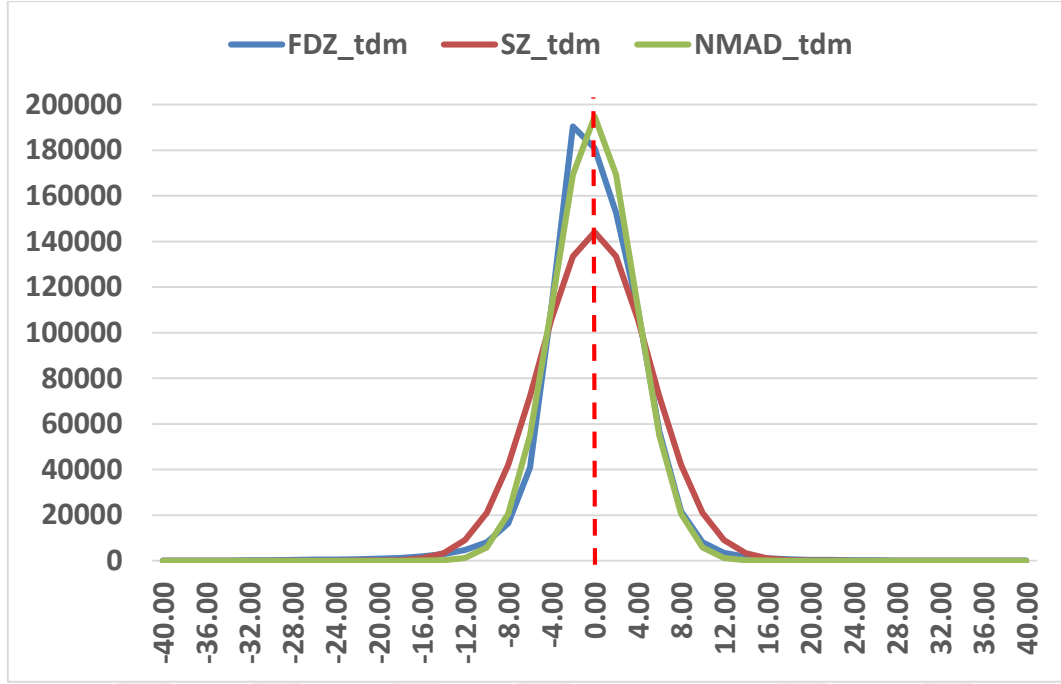
Şekil 5.9 Radargrametrik DYM3 için hataların frekans dağılımı, standart sapması ve NMMS

Radargrametrik DYM3 değerlendirme grafiği Şekil 5.9’de verilmiştir. Buna göre hataların frekans dağılımı 30 bin nokta yaklaşık, normalize medyan mutlak sapma (NMMS) yaklaşık 25 bin noktayı geçkin ve standart sapması yaklaşık 25 bin noktası ± 4 metre içerisinde. Radargrametrik DYM3 standart sapmada 14,645 m. ve NMMS 12,969 m. doğruluk temsil edilmiştir.



Şekil 5.10 AW3D 30 için hataların frekans dağılımı, standart sapması ve NMMS

AW3D 30 değerlendirme grafiği Şekil 5.10’de verilmiştir. Çözünürlük farklarından dolayı hataların frekans dağılımı 20 bin noktadan fazla, normalize medyan mutlak sapma (NMMS) yaklaşık 20 bin nokta ve standart sapması 20 bin noktaya yakın ± 4 metre içerisinde. AW3D 30 standart sapmada 4,451 m. ve NMMS 3,321 m. doğruluk temsil edilmiştir.



Şekil 5.11 TDM 12 için hataların frekans dağılımı, standart sapması ve NMMS.

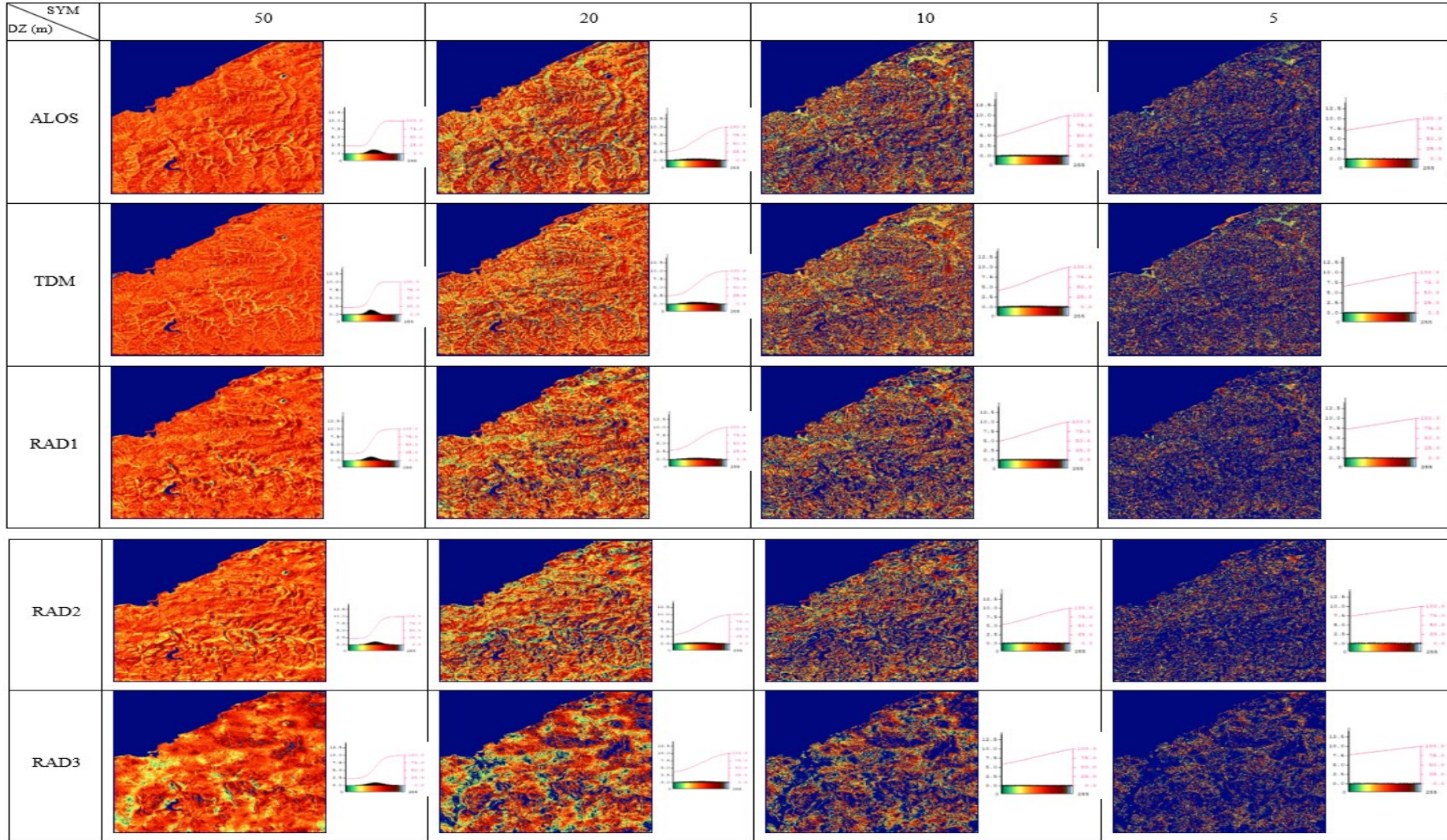
TDM 12 değerlendirme grafiği Şekil 5.11’de verilmiştir. Çözünürlük farklarından dolayı hataların frekans dağılımı 180 bin noktadan fazla, normalize medyan mutlak sapma (NMMS) yaklaşık 200 bin noktaya yakın ve standart sapması 140 bin noktadan fazlası ± 4 metre içerisinde. TDM12 standart sapmada 4,027 m. ve NMMS 2,489 m. doğruluk temsil edilmiştir.

Çizelge 5.2’deki sonuçlara bakıldığında bi-static TDM12 ve AW3D 30 küresel modelleri beklenildiği gibi yüksek çözünürlüklü verilerden elde edilmeleri ve sürekli iyileştirilmeleri sebebiyle düşey konum doğrulukları yüksek çıkmıştır. Sentinel-1 SAR uydusunun 5x20 m. orijinal piksel çözünürlüğüyle yapılan radargrametrik çözümlemelerimizde Radargrametrik DYM1 olarak isimlendirilen model 8,585 m. ile en başarılı model olmuştur.

Çizelge 5.2 Radargrametrik yöntemle üretilmiş DYM'ler, AW3D ve TDM12 modellerinin düşey doğrulukları.

Doğruluk Analizi						Dahil Edilmeyen Noktalar (%)	Bias (m)
Referans SYM	Test Edilen SYM	Arazi Sınıfı	Nokta Sayısı	Standart sapma (bias = 0) (m)	Normalize Medyan Mutlak Sapma (bias=0) (m)		
Fotogrametrik DYM (5 m)	Radargrametrik DYM 1 (15 m)	Açık	256985	9,145 +	6,902 +	0,00	-30,05
				$6,275 \times \tan(a)$	$7,210 \times \tan(a)$		
		Orman	321595	9,026 +	7,351 +	0,00	-30,14
				$6,818 \times \tan(a)$	$6,208 \times \tan(a)$		
		Bütün Alan	531283	8,585 +	6,863 +	0,00	-30,48
				$8,112 \times \tan(a)$	$7,259 \times \tan(a)$		
	Radargrametrik DYM 2 (15 m)	Açık	277897	10,783 +	9,505 +	0,00	-31,26
				$6,872 \times \tan(a)$	$8,007 \times \tan(a)$		
		Orman	351290	10,734 +	9,530 +	0,00	-31,44
				$7,083 \times \tan(a)$	$7,849 \times \tan(a)$		
		Bütün Alan	589178	10,506 +	9,369 +	0,00	-31,79
				$7,308 \times \tan(a)$	$7,388 \times \tan(a)$		
	Radargrametrik DYM 3 (15 m)	Açık	256756	14,469 +	14,453 +	0,01	-28,94
				$7,872 \times \tan(a)$	$7,781 \times \tan(a)$		
		Orman	330149	14,659 +	12,675 +	0,01	-30,05
				$8,043 \times \tan(a)$	$7,931 \times \tan(a)$		
		Bütün Alan	531102	14,645 +	12,939 +	0,02	-31,82
				$9,130 \times \tan(a)$	$7,850 \times \tan(a)$		
	AW3D 30 (30 m)	Açık	69536	4,778 +	3,543 +	0,00	1,52
				$4,584 \times \tan(a)$	$4,717 \times \tan(a)$		
		Orman	88196	4,714 +	3,617 +	0,00	1,34
				$4,555 \times \tan(a)$	$4,671 \times \tan(a)$		
		Bütün Alan	146530	4,451 +	3,621 +	0,00	1,08
				$4,699 \times \tan(a)$	$4,624 \times \tan(a)$		
	TDM 12 (12 m)	Açık	434011	3,976 +	2,167 +	0,00	3,92
				$2,636 \times \tan(a)$	$3,721 \times \tan(a)$		
		Orman	549927	3,999+	2,610 +	0,00	3,85
				$2,682 \times \tan(a)$	$2,722 \times \tan(a)$		
		Bütün Alan	921090	4,027 +	2,489 +	0,00	3,75
				$2,238 \times \tan(a)$	$3,269 \times \tan(a)$		

5.2 YÜKSEKLİK HATA HARİTALARI



Şekil 5.12 Yükseklik hata dağılım haritaları

Yükseklik hata dağılım haritalarını referan DYM HGM 5 m. ile üretilen Radargrametrik DYM1, DYM2 ve DYM3; indirilen küresel DYM TDM12 ve AW3D 30 modelleri arasında yapılmıştır. Şekil 5.12’de görülebileceği gibi dağılım haritaları ± 5 m., ± 10 m., ± 20 m. ve ± 50 m. referanstan olan farkların gösterimidir.

RAD1 modeli Radargrametrik DYM1’in bu bölümde kısaltması olarak kullanılmıştır. RAD2 modeli Radargrametrik DYM2’nin bu bölümde kısaltması olarak kullanılmıştır. RAD3 modeli Radargrametrik DYM3’ün bu bölümde kısaltması olarak kullanılmıştır.

Zonguldak topoğrafyasının ani değişimi ve ormanlık alanlarından dolayı SAR temelli görüntülemeler TDM12, RAD1, RAD2 ve RAD3 ani bozunmalar yaşamışken AW3D 30 (ALOS) daha radyal doğruluklu nokta dağılımına sahiptir.

RAD1 ve RAD2 modelleri ± 10 m. civarında ormanlık ve su alanlar haricinde şehir merkezinin tasfirinde başarımlı göstermiştir. Hatta Zonguldak limanı mendirek hattı ± 5 m. içerisinde kalmıştır. RAD3 modeli ± 20 m. itibaren morfolojik detayları kaybetmeye başlamıştır. Arazi tasfiri konusunda geometrik doğruluğunda gösterdiği düşük kalmıştır. Özellikle yüksek korelasyon içermesi beklenen yapılaşma bölgelerinde detayları yakalayamamıştır.

Bu sonuçların neticesinde RAD1 elipsoidal bakış açılarının ortalaması alınarak uydulara yöneltilen köşe yansıtıcıların yer kontrol noktası olarak tanımlanması ile üretilen model arazi tasviri ve metrikleri ile öne çıkmaktadır.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması Zonguldak-Bartın test sahasında radargrametrik dijital yüzey modeli (DYM) üretimini için köşe yansıtıcı istasyon ağının kurulmasını, geometrik özelliklerinin belirlenmesi ve yöneltilmesi konusunu içermektedir. Hedefleri doğrultusunda özellikle DYM üretiminde bir çok sorunun çözümlendiği araçlar ile temel radargrametrik değerlendirmeler ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, köşe yansıtıcı geometrisinin radargrametrik oryantasyon ve dijital yüzey modeli (DYM) kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması, radar görüntülemenin incelikleri ve konumsal analiz üzerindeki etkisi hakkında değerli bilgiler sağlamıştır. Yedi farklı köşe yansıtıcının oluşturulması ve yerleştirilmesinin yanı sıra sahada iki farklı tip köşe yansıtıcının kullanılmasıyla, SAR görüntülemeyi etkileyen çeşitli faktörleri değerlendirmek için kapsamlı bir çalışma yürütülmüştür.

Stereo radargrametrik çiftlerde köşe yansıtıcıların farklı yönelimleri ile yapılan deneyler, ortaya çıkan DYM'lerde nüanslı varyasyonları ortaya çıkarmıştır. Bu keşif, radar görüntülemenin köşe yansıtıcı geometrisine olan duyarlılığına ışık tutmakla kalmıyor, aynı zamanda doğru konumsal temsil için hassas yansıtıcı yerleşiminin önemini de vurguluyor. Sahada kullanılan iki tip köşe yansıtıcı, farklı tasarımların DYM'lerin kalitesini ve güvenilirliğini nasıl etkileyebileceğinin anlaşılmasına da katkıda bulunmaktadır.

Fotogrametrik 5 metrelik DYM'lerle birleştirilen kapsamlı 3B konumsal analiz, köşe yansıtıcı geometrisinin oluşturulan modellerin doğruluğu ve çözünürlüğü üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamıştır. Bulgular, radar tabanlı uygulamalarda, özellikle de yüksek hassasiyet ve güvenilirliğin çok önemli olduğu senaryolarda köşe yansıtıcı özelliklerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

Radargrametrik DYM 1 modelinin 3B konum doğruluğu ve topoğrafya tasviri radargrametrik modeller içerisinde 8,585 m standart sapma değeri ile en başarılısıdır. Köşe yansıtıcılarının yerleşimi ve yöneltimi itibarıyla elipsoidal bakış açısı ile hesaplanan taban plakası eğim açısı başarımını göstermektedir. Radargrametrik DYM 3 modeli lokal bakış açılarının ortalamasıyla hesaplanan taban plakası eğim açısına göre üretimde standart sapma 14,645 m ile başarımı en düşük model olmuştur.

Temelde, bu çalışma sadece köşe yansıtıcı geometrisi, radargrametrik oryantasyon ve DYM kalitesi arasındaki karmaşık ilişkiyi anlamamızı ilerletmekle kalmıyor, aynı zamanda uzaktan algılama, mekansal haritalama ve ilgili alanlarda gelecekteki uygulamaları bilgilendirebilecek pratik bilgiler de sağlıyor. Burada sunulan incelikli bulgular, radar görüntüleme alanındaki daha geniş bilgi birikimine katkıda bulunmakta ve farklı çevresel koşullarda köşe yansıtıcı tasarımını optimize etmek için değerli hususlar sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- Acharki S, Veettil BK and Vizzari M** (2024) Plastic-covered greenhouses mapping in Morocco with Google Earth engine: Comparing Sentinel-2 and Landsat-8 data using pixel- and object-based methods, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 33 (8): 34-40.
- Alobeid A, Jacobsen K and Heipke C** (2010) Comparison of matching algorithms for DSM generation in urban areas from Ikonos imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76(9).
- Baltsavias E** (1999) A comparison between photogrammetry and laser scanning, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, 83-94.
- Balz T, Zhang L and Liao M** (2013) Direct stereo radargrammetric processing using massively parallel processing, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79, 137-146.
- Berra E, Gibson-Poole S, MacArthur A, Gaulton R and Hamilton A** (2015) Estimation of the spectral sensitivity functions of un-modified and modified commercial off-the-shelf digital cameras to enable their use as a multispectral imaging system for UAVs, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(1W4), 207-214.
- Bouali EH, Oommen T, Vitton S, Escobar-Wolf R and Brooks C** (2017) Rockfall Hazard Rating System: Benefits of Utilizing Remote Sensing, *Environmental & Engineering Geoscience*, 23(3), 165-177.
- Buchberger C, Eder T, Pfeiffer F and Biebl E** (2022) Analytical Model for the Maximum Radar Cross Section of Dielectric Trihedral Corner Reflectors, *2022 IEEE Radar Conference (RadarConf22)*. IEEE.
- Capaldo P, Crespi M, Fratarcangeli F, Nascetti A and Pieralice F** (2012) Radargrammetric Digital Surface Models Generation from Terrasar-X Imagery: Case Studies, Problems and Potentialities, *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1, 35-40.
- Crosetto M and Pérez F** (2000) Radargrammetry and SAR interferometry for DEM generation : validation and data fusion, *SAR Workshop: CEOS Committee on Earth Observation Satellites*, (1), 367-372.
- Doerry AW** (2018) Reflectors for SAR Performance Testing. *SANDIA REPORT*. Erişim adresi: <http://www.ntis.gov/help/ordermethods.asp?loc=7-4-0#online> (Erişim: 26 Aralık 2023).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Garthwaite MC, Nancarrow S, Hislop A, Thankappan M, Dawson JH and Lawrie S** (2015) The Design of Radar Corner Reflectors for the Australian Geophysical Observing System: a single design suitable for InSAR deformation monitoring and SAR calibration at multiple microwave frequency bands, *Geoscience Australia*.
- Guerra R, Barrios Y, Díaz M, Santos L, López S and Sarmiento R** (2018) A new algorithm for the on-board compression of hyperspectral images, *Remote Sensing*, 10 (3).
- Hennig SD, Koppe W, Kiefl N and Janoth J** (2010) Validation of radargrammetric digital elevation models (DEMs) generated with TerraSAR-X data, *Synthetic Aperture Radar (EUSAR), 2010 8th European Conference*, 1-4.
- Höhle J and Höhle M** (2009) Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 398-406.
- Kaur R and Sharma D** (2018) A Review of Various Categories of Satellite Image Processing in Remote Sensing, R. Singh, S. Choudhury, ve A. Gehlot (ed.) *Intelligent Communication, Control and Devices*. Singapore: Springer Singapore (Advances in Intelligent Systems and Computing), 325-333.
- Knott EF** (1993) *Radar Cross Section Measurements*. Boston, MA: Springer US.
- Knott EF, Shaeffer JF and Tuley MT** (2004) *Radar cross section*. 2nd ed., corr. reprinting. Raleigh, NC: SciTech Pub (SciTech radar and defense series).
- Lahiri A** (2016) *Diffraction and Scattering*, Basic Optics. Elsevier, 385-537.
- Lazecky M, Maghsoudi Y, Albino F, Hooper AJ and Wright TJ** (2021) Improvements in the Licsar Generator of Sentinel-1 Interferograms, *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, Brussels, Belgium . 2671-2674.
- Leberl F** (1979) Accuracy Analysis of Stereo Side-Looking Radar, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45(2),1083-1096.
- Lee H** (2012) Opposite-side radargrammetry of Magellan synthetic aperture radar on Venus, *Geosciences Journal*, 16(2), 165-170.
- Martinis S and Rieke C** (2015) Backscatter Analysis Using Multi-Temporal and Multi-Frequency SAR Data in the Context of Flood Mapping at River Saale, Germany, *Remote Sensing*, 7 (6), 7732-7752.
- Manjunath KR** (2016) Analysis and efficiency evaluation of cropping system using multi-temporal optical and microwave remote sensing data, *GIScience Remote Sensing*, 53(2).
- Méric S, Fayard F and Pottier Ê** (2011) A multiwindow approach for radargrammetric improvements, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 3803-3810.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Méric S, Pottier E, Fayard F and Pottier É** (2009) Radargrammetric SAR image processing, *Geoscience and Remote sensing*. INTECH Open Access Publisher.
- Özdemir C, Yilmaz B and Kirik Ö** (2014) PRediCS: A new GO-PO-based ray launching simulator for the calculation of electromagnetic scattering and RCS from electrically large and complex structures, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 22(5), 1255-1269.
- Paknys R** (2016) *Applied Frequency-Domain Electromagnetics*. 1. bs. Wiley.
- Perko R, Gutjahr K, Kruger M, Raggam H and Schardt M** (2017) DEM-based epipolar rectification for optimized radargrammetry, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2017-July(August), 969-972.
- Reinartz P, Müller R, Suri S, Schwind P and Schneider M** (2010) Terrasar-X data for improving geometric accuracy of optical high and very high resolution satellite data, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*.
- Schmidt K, Reimann J, Ramon NT and Schwerdt M** (2018) Geometric accuracy of sentinel-1A and 1B derived from SAR raw data with GPS surveyed corner reflector positions, *Remote Sensing*, 10(4), 1-13.
- Sefercik UG, Buyuksalih G, Atalay C and Jacobsen K** (2018) Validation of Sentinel-1A and AW3D30 DSMs for the Metropolitan Area of Istanbul, Turkey, *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 86(3-4), 141-155.
- Toutin T, Blondel E, Clavet D and Schmitt C** (2013) Stereo radargrammetry with Radarsat-2 in the Canadian Arctic, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(5), 2601-2609.
- Ufimtsev PYa** (2014) *Fundamentals of the Physical Theory of Diffraction*. 1. bs. Wiley.
- Wang K, Xu X and Fialko Y** (2017) Improving Burst Alignment in TOPS Interferometry With Bivariate Enhanced Spectral Diversity, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(12), 2423-2427.
- West RD** (2011) *Model-Based Stripmap Synthetic Aperture Radar Processing*. Utah State University.
- Yang C-J and Chen L-C** (2012) Geometric Analysis Of 3d Object Positioning Using Sar And Optical Images, 23. *Asian Conference on Remote Sensing*, Pattaya Thailand.
- Yang W, Wang S, Zhao X, Zhang J and Feng J** (2015) Greenness identification based on HSV decision tree, *Information Processing in Agriculture*.
- Yu JH, Ge L ve Li X** (2014) Radargrammetry for Digital Elevation Model Generation Using Envisat Reprocessed Image and Simulation Image, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(9), 1589-1593.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

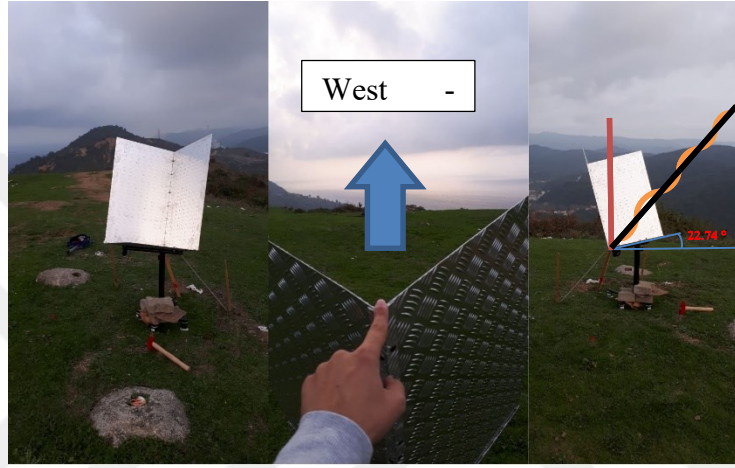
URL-1 Copernicus Open Access Hub, ESA. <https://scihub.copernicus.eu/>, 25/06/2020.

URL-2 Sayısal Yüzey Modeli (SYM) 5 m. Harita Genel Müdürlüğü. <https://www.harita.gov.tr/urun-51-sayisal-yuzey-modeli--sym--5-m-.html>, 28/05/2020.



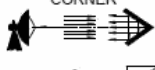
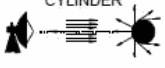
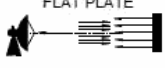
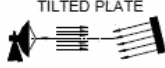
EK AÇIKLAMALAR

EK A: Saha Uygulamaları

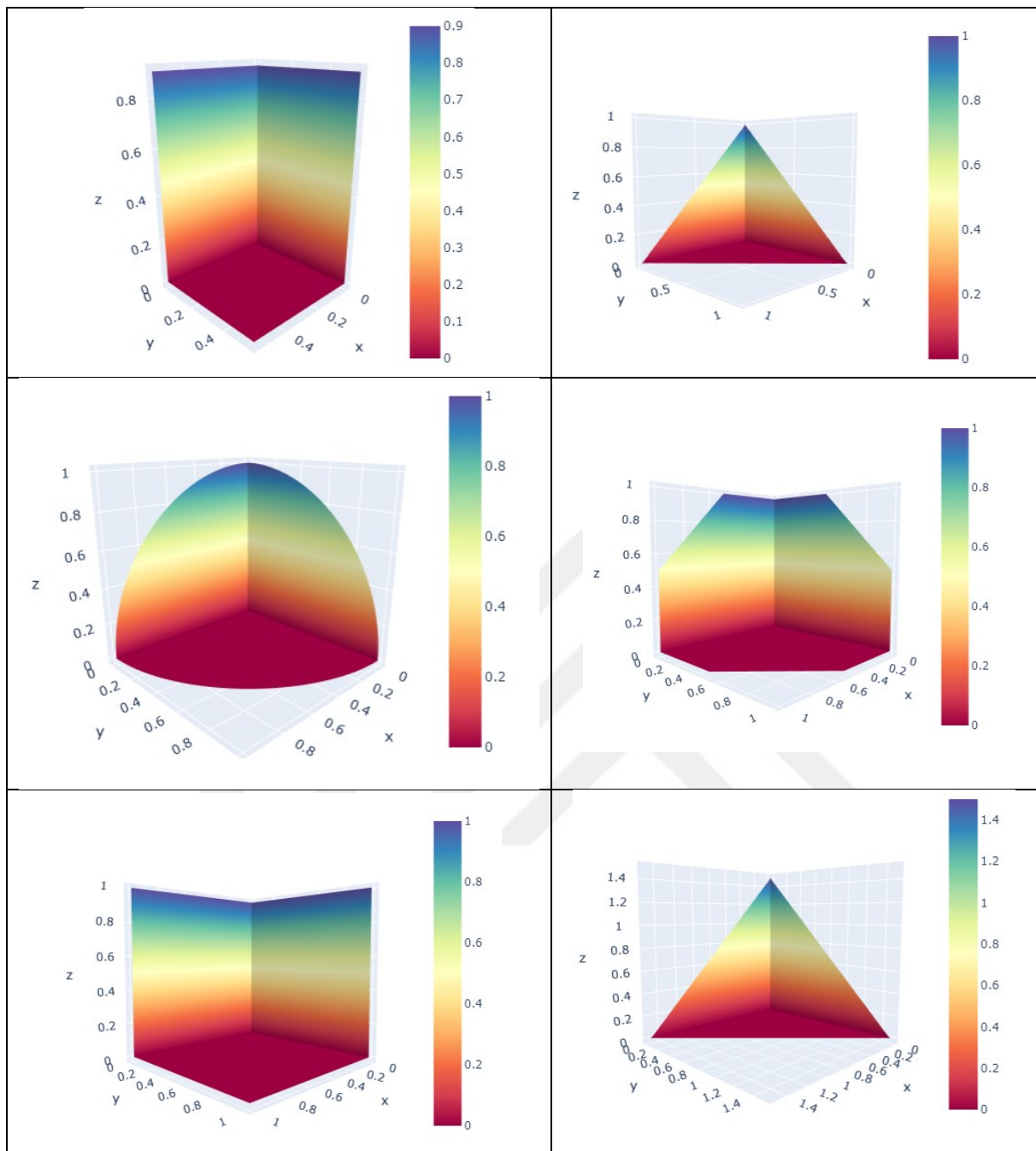




EK B: Radar Kesit Alanı Uygulamaları

 SPHERE $\sigma_{\max} = \pi r^2$	 CORNER $\sigma_{\max} = \frac{8\pi w^2 h^2}{\lambda^2}$
 CYLINDER $\sigma_{\max} = \frac{2\pi r h^2}{\lambda}$	 Dihedral Corner Reflector $\sigma_{\max} = \frac{4\pi L^4}{3\lambda^2}$
 FLAT PLATE $\sigma_{\max} = \frac{4\pi w^2 h^2}{\lambda^2}$	 Trihedral Corner Reflectors $\sigma_{\max} = \frac{12\pi L^4}{\lambda^2}$
 TILTED PLATE Same as above for what reflects away from the plate and could be zero reflected to radar	 Trihedral Corner Reflectors $\sigma_{\max} = \frac{15.6\pi L^4}{3\lambda^2}$

Radar Bandı (m) (X, C, L)		Ebat (m)	Üçgen Köşe-Yansıtıcı (dBms)	Dikdörtgen Köşe-Yansıtıcı (dBms)	Tekil Yansıtıcı (dBms)
0.033	X BAND	0.5	23.80940747	33.35183256	30.16424494
0.055		0.9	34.02030767	43.56273277	35.26969504
0.24		1	35.8506073	45.39303239	36.18484485
		1.5	42.89425766	52.43668275	39.70667003
		2	47.89180712	57.43423222	42.20544476
0.033	C BAND	0.5	19.37243248	28.91485757	25.72726994
0.055		0.9	29.58333268	39.12575778	30.83272005
0.24		1	31.4136323	40.9560574	31.74786986
		1.5	38.45728267	47.99970776	35.26969504
		2	43.45483213	52.99725722	37.76846977
0.033	L BAND	0.5	6.575461432	16.11788653	12.9302989
0.055		0.9	16.78636164	26.32878673	18.035749
0.24		1	18.61666126	28.15908635	18.95089881
		1.5	25.66031162	35.20273672	22.47272399
		2	30.65786109	40.20028618	24.97149873



Radar Kesit Alanı hesaplanacak objenin içeriye aktarımı, geometrilerinin tanımlanması ve görselleştirilmesi için tanımlanan kod;

```
1 import meshio
2
3 import plotly.graph_objs as go
4 from IPython.display import SVG, display
5
6 mesh_data = meshio.read('C:/Users/****/RCS_Radar/RCS/XYZ.stl')
7
8 fig = go.Figure()
9
10 fig.add_trace(go.Mesh3d(x=mesh_data.points[:, 0],
11                        y=mesh_data.points[:, 1],
12                        z=mesh_data.points[:, 2],
13                        i=mesh_data.cells[0].data[:, 0],
14                        j=mesh_data.cells[0].data[:, 1],
15                        k=mesh_data.cells[0].data[:, 2],
16                        intensity=mesh_data.points[:, 2],
17                        colorscale='Viridis'
18                        ))
19
20 fig.show()
21 #display(SVG(fig.to_image(format='svg', scale=1)))
```

RKA hesaplanması için tanımlanan kütüphanelerin çağırılması ve frekans aralıkları 1-10 GHZ kadar olan aralıktaki hesaplarının yapıp, hesaplama sürelerini (tasarlanmış olan köşe-yansıtıcılar optimize edilmediğinde 2 saate yakın hesaplama zamanları oluşmaktadır.) yazdıran kod;

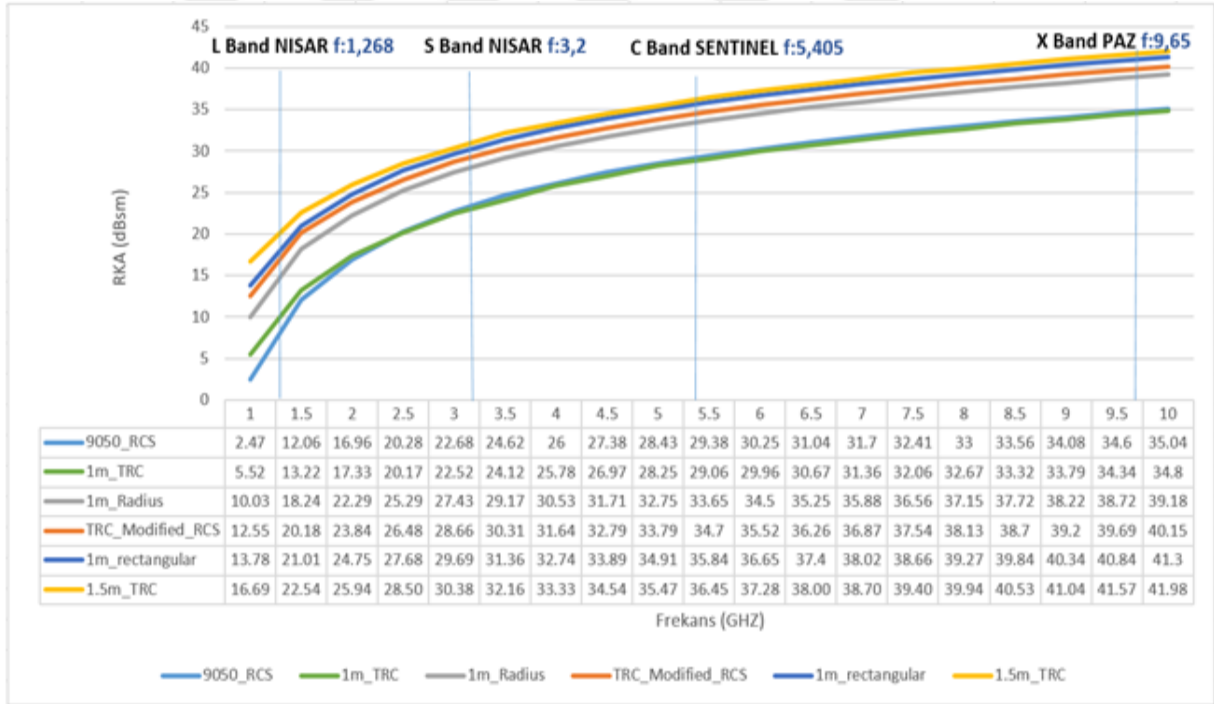
```
1 import time
2 import numpy as np
3
4 from radarsimpy.rt import rcs_sbr
5
6 phi = 0
7 theta = -90
8 freq = np.arange(1.25,9.65,0.25)*1e9
9 pol = [0, 0, 1]
10 density = 10
11
12 rcs = np.zeros_like(freq)
13
14 tic = time.time()
15 for f_idx, f in enumerate(freq):
16     rcs[f_idx] = 10*np.log10(
17         rcs_sbr('C:/Users/****/RCS_Radar/RCS/XYZ.stl',
18                 f,
19                 phi,
20                 theta,
21                 pol=pol,
22                 density=density))
23 toc = time.time()
24
25 print('Exec time :'+str(toc-tic) + 's')
```

1'den 10 GHZ'e kadar RKA hesaplamalarının grafiksel çizimini hazırlayan kod;

```

1 fig = go.Figure()
2 fig.add_trace(go.Scatter(x=freq/1e9, y=rscs))
3
4 fig.update_layout(
5     title='RCS vs Frequency',
6     yaxis=dict(title='RCS (dBsm)'),
7     xaxis=dict(title='Frequency (GHz)'),
8     font=dict(
9         family="Courier New, monospace",
10        size=18,
11        color="RebeccaPurple"
12    )
13 )
14
15 fig.show()
16 # display(SVG(fig.to_image(format='svg', scale=1)))

```



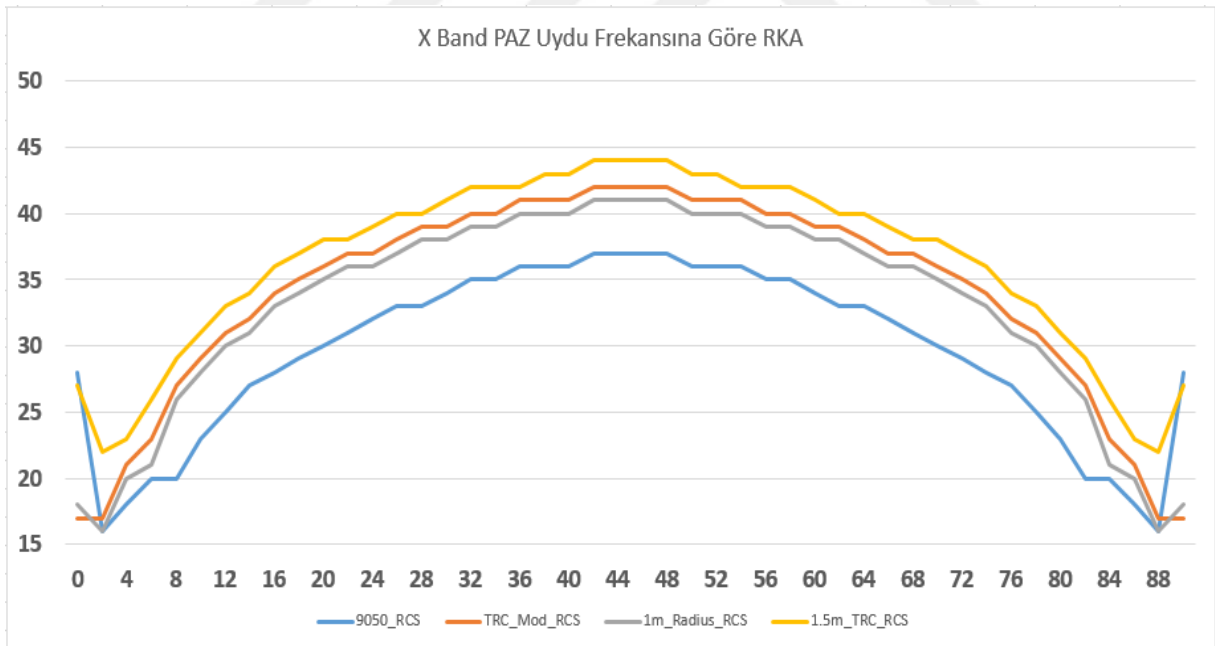
Her bir objenin spesifik olarak bir uydu frekansı (X,C,S,L) için RKA hesaplandığı kod;

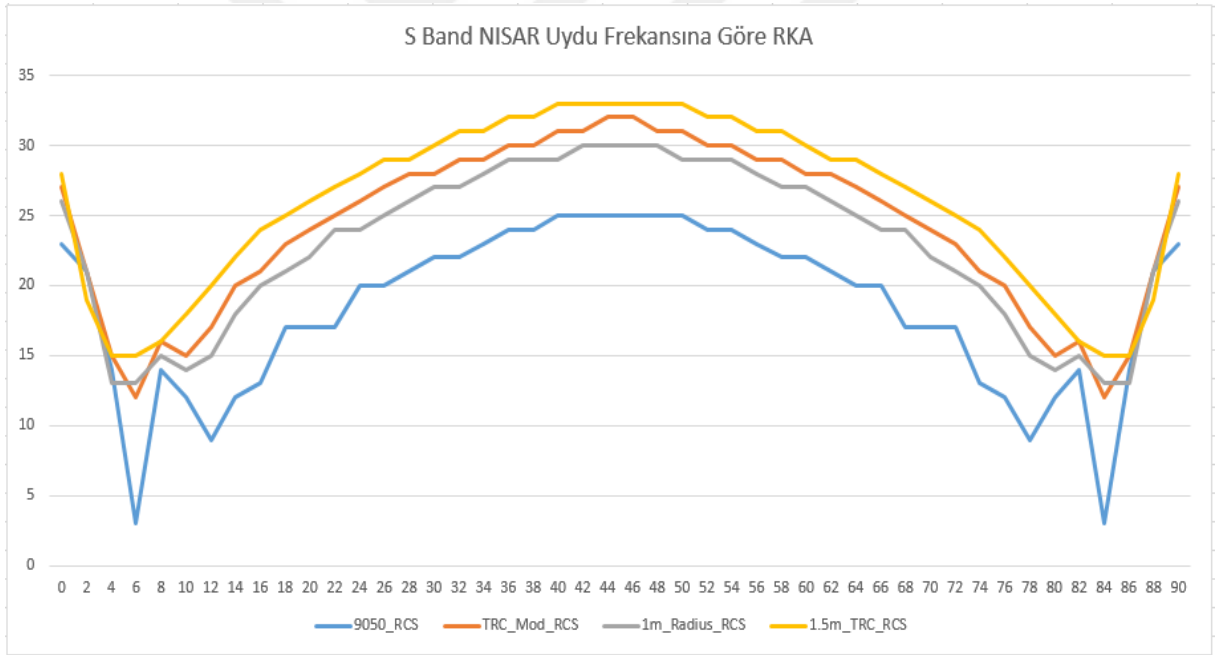
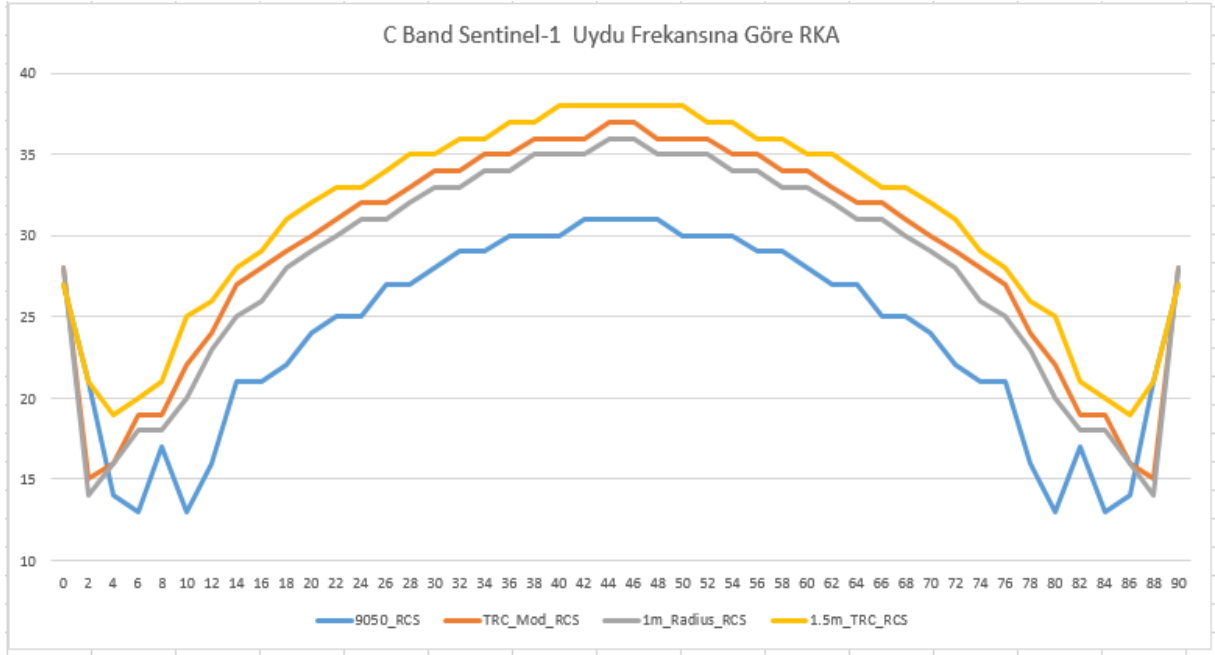
```
phi = np.arange(-45, 45, 1)
theta = -90
freq = X,C,S,L
pol = [0, 0, 1]
density = 11

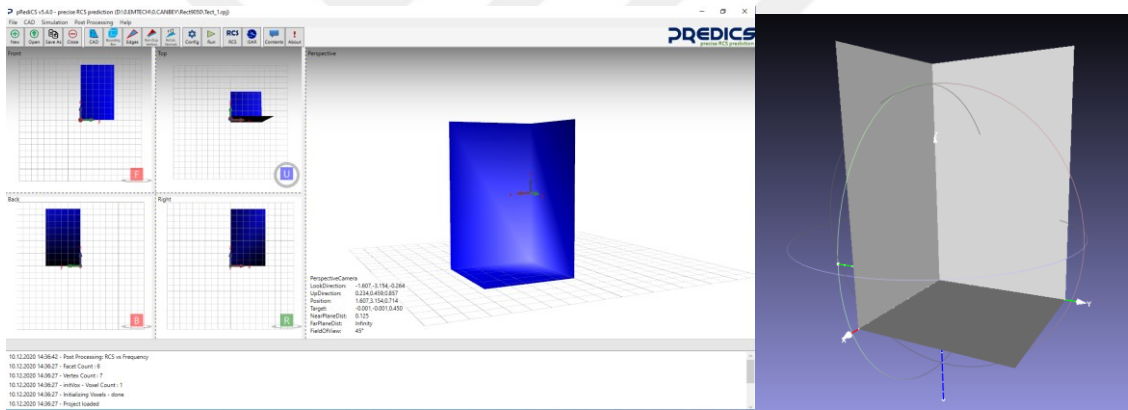
rcs = np.zeros_like(phi)

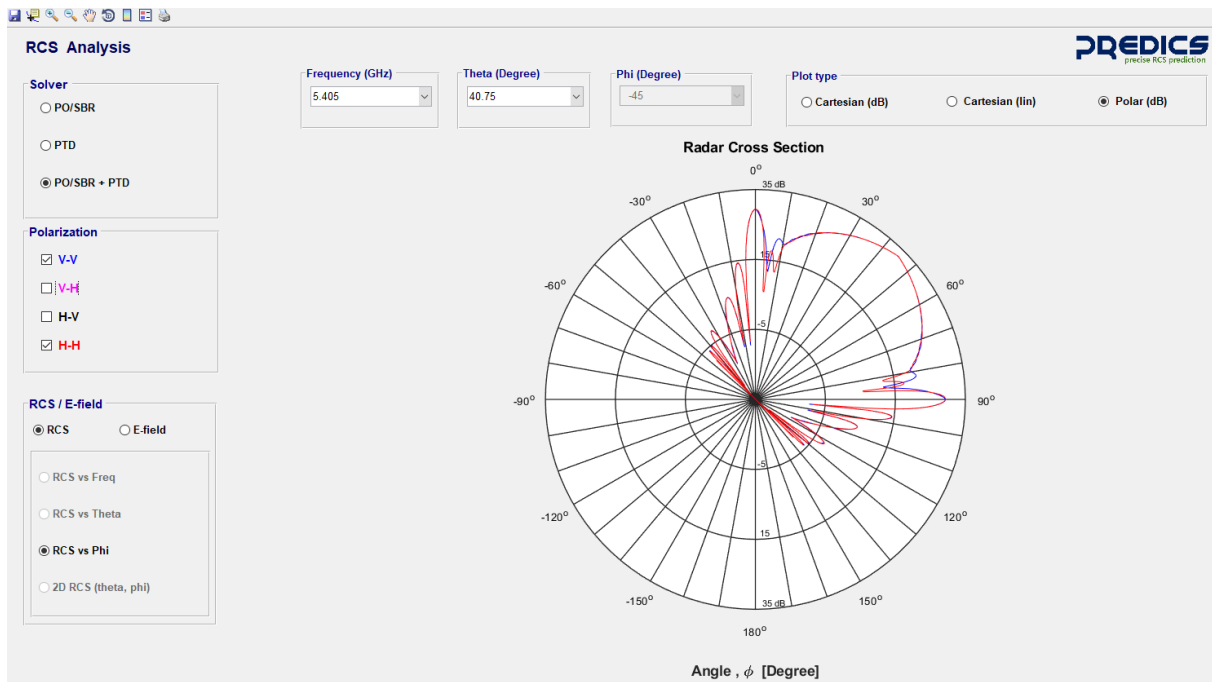
tic = time.time()
for phi_idx, phi_ang in enumerate(phi):
    rcs[phi_idx] = 10*np.log10(
        rcs_sbr('C:/Users/***/RCS_Radar/RCS/XYZ.stl',
            freq,
            phi_ang,
            theta,
            pol=pol,
            density=density))
toc = time.time()

print('Exec time :'+str(toc-tic) + 's')
```

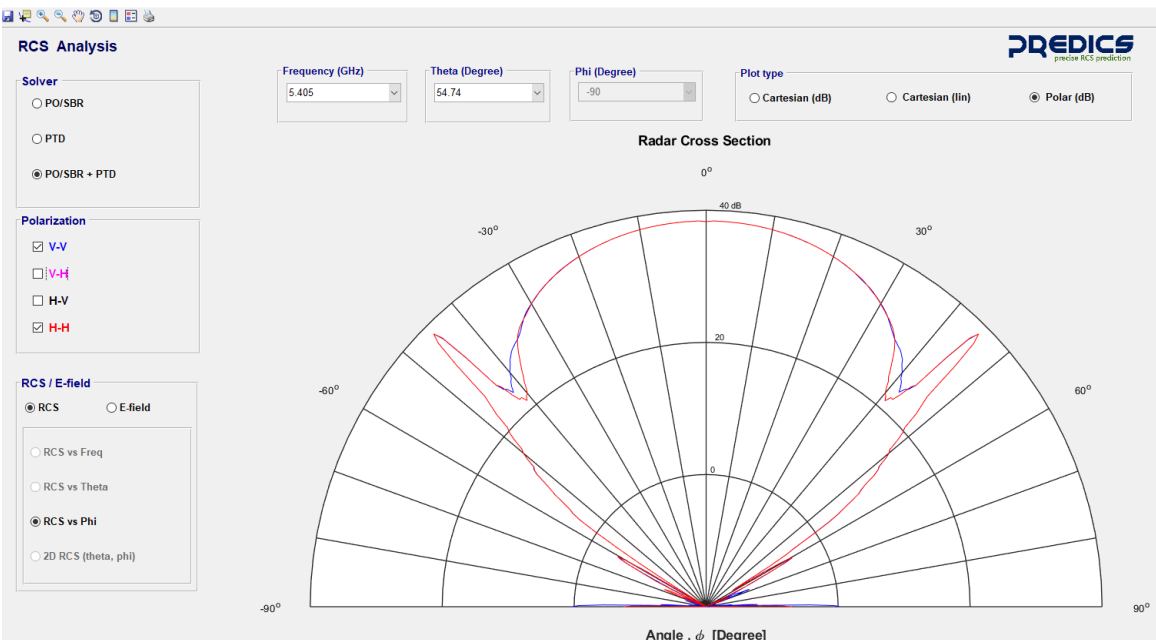
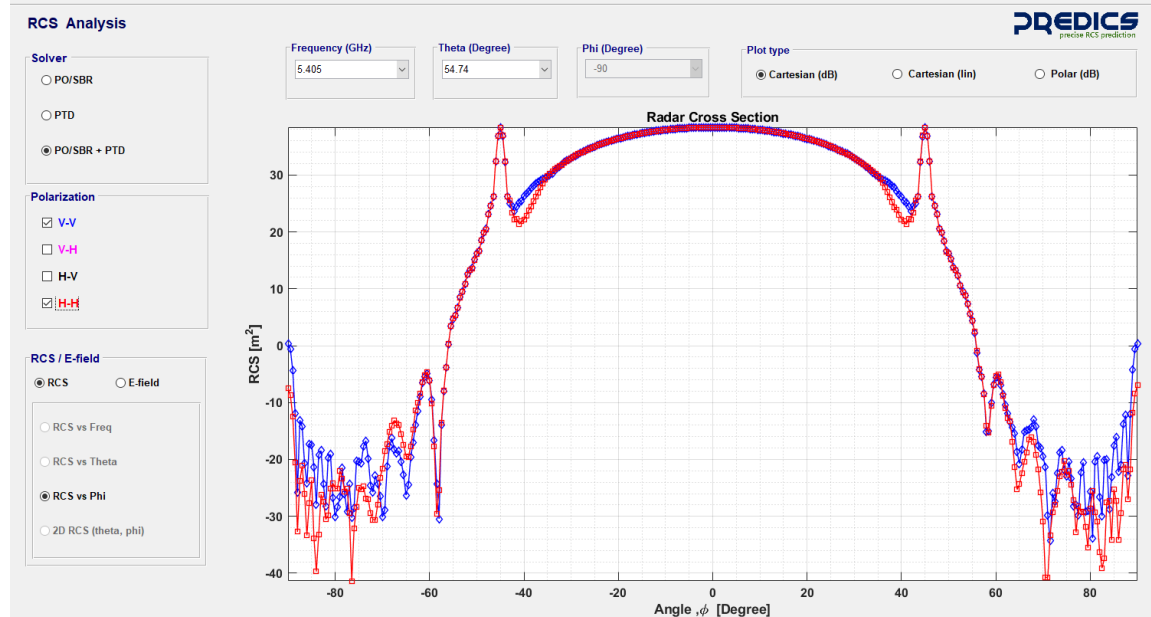
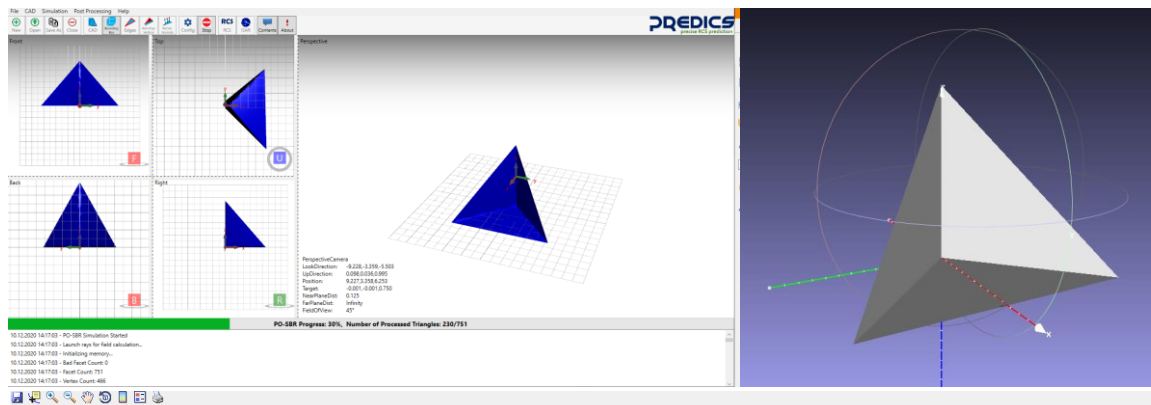








RKA= 32.25223429 dbms



$$\text{RKA} = 38.390755343259 \text{ dbms}$$

EK C: Köşe-Yansıtıcı Üretim Maliyet Çizelgesi

	Adet	Ebat	Fiyat (USD)
Yivli Paslanmaz Çubuk	7	1 metre	52,83
Paslanmaz Flanş 3"	7	3"x 4 set	182,35
Paslanmaz Boru 32 mm	1	6 metre	23,05
Paslanmaz Lama 5x50 mm	3	18 metre	135,39
Paslanmaz Profil 30x60mm	4	24 metre	188,12
Aluminyum saç 2 mm.	15	1000*2000 mm	101,07
Aluminyum Levha 2 mm 5754	4+1	1000*2000 mm + 1500*3000 mm	285,33
Aluminyum Levha Kesimi			131,14
		TOPLAM KDV DAHİL	1099,28



ÖZGEÇMİŞ

Can ATALAY, İlk ve orta öğretiminin ardından 2009 yılında lise öğrenimini Zonguldak'da tamamladı. 2007 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümünü kazandı. Lisans eğitimini 2013 yılında tamamladı. Aynı yıl Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2015 yılında Geomatik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak başladı ve devam etmektedir.