

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

**İNSANSIZ SU ÜSTÜ ARACI VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ**  
**KULLANARAK BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ: FİLYOS LİMANI ÖRNEĞİ**



**GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ANIL SAĞDIÇ**

**AĞUSTOS 2020**

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

**İNSANSIZ SU ÜSTÜ ARACI VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ**  
**KULLANARAK BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ: FİLYOS LİMANI ÖRNEĞİ**

**GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Anıl SAĞDIÇ**

**DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ**

**ZONGULDAK**

**Ağustos, 2020**

**KABUL:**

Anıl SAĞDIÇ tarafından hazırlanan “İnsansız Su Üstü Aracı Ve Uzaktan Algılama Teknikleri Kullanılarak Batimetrik Harita Üretimi: Filyos Limanı Örneği” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 28/08/2020

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ .....  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik  
Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Eray KÖKSAL .....  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik  
Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Doç. Dr. Ayhan ATEŞOĞLU .....  
Bartın Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü

---

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım. ....../....../2020

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



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

Anıl SAĞDIÇ

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **İNSANSIZ SU ÜSTÜ ARACI VE UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ KULLANARAK BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ: FİLYOS LİMANI ÖRNEĞİ**

**Anıl SAĞDIÇ**

**Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ**

**Ağustos 2020, 73 sayfa**

Batimetri, Yunanca Bathus ve Metron kelimelerinden türemiş olup derinlik ölçme anlamına gelmektedir. Genel anlamda, su, deniz, göl ve okyanus tabanlarının topoğrafik ölçmelerinin gerçekleştirilmesi çalışmalarının bütünüdür. Derinliklerin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmakta olup bunlardan biri de iskandil yöntemidir.

İskandil yöntemi teknolojinin gelişimine paralel olarak geçmişten günümüze gelişim göstermiştir. Gelişimin son noktasında akustik iskandil yöntemi yer almaktadır. Bu yöntemde ses dalgalarının su içerisindeki hızı ve seyahat süresine bağlı olarak derinlik belirlenmeye çalışılır.

Son yıllarda akustik iskandil yöntemine alternatif olabilecek uzaktan algılama ile derinlik belirleme üzerine sıklıkla çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmaların olumlu sonuçlar vermesi durumunda oldukça zahmetli yürütülen klasik batimetrik çalışmalarına yeni bir bakış açısı getireceği açıktır.

## **ÖZET (devam ediyor)**

Bu önemli sebeplerden dolayı çalışmada uzaktan algılama teknikleri ve klasik batimetri teknikleri kullanılmış olup yöntemler karşılaştırılmıştır. Akustik iskandil yöntemi ile yapılan ölçümlerde kullanılan insansız su üstü aracının çalışmaya özgünlük kattığı düşünülmektedir.

Bu amaçla Zonguldak İli Çaycuma İlçesine bağlı Filyos Beldesi liman bölgesinde akustik iskandil ve uzaktan algılama yöntemleri ile batimetrik harita üretimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak elde edilen veriler karşılaştırılarak analizler yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Batimetri, Akustik İskandil, Uzaktan Algılama, İnsansız Su Üstü Aracı

**Bilim Kodu:** 616.01.00

## **ABSTRACT**

**Msc. Thesis**

### **BATYMETRIC MAP PRODUCTION USING UNMANNED SURFACE AIRCRAFT AND REMOTE SENSING TECHNIQUES: FİLYOSPORT EXAMPLE**

**Anıl SAĞDIÇ**

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

**Thesis Advisor: Assist Prof. Dr. Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ  
Agust 2020, 73 pages**

Bathymetry is derived from the Greek words Bathus and Metron, meaning depth measurement. In general, the topographic survey of water, sea, lake and ocean floors is the whole of the studies. Different methods are used to determine the depth and one of them is the sounding method.

The sounding method has been evolved from past to nowadays in parallel with the development of technology. Acoustic sounding method is the ultimate point of development. In this method, the depth is tried to be determined depending on the speed of the sound waves and the travel time in the water body.

In recent years, studies on frequent depth determination by remote sensing, which may be an alternative to acoustic sounding method, have been carried out. It is clear that if these studies give positive results, it will bring a new perspective to the classical bathymetric works carried out very laborious.

## **ABSTRACT (continued)**

For these important reasons, remote sensing techniques and classical bathymetric techniques were used in the study and methods were compared. The unmanned surface vehicle designed in the measurements with the acoustic sounding method has been used and is thought to add originality to the study.

For this purpose, bathymetric maps were produced by using acoustic sounding and remote sensing methods in Filyos Town of Çaycuma District of Zonguldak Province. As a result, analyzes were made by comparing the obtained data.

**Keywords:** Bathymetry, Acoustic Sounder, Remote Sensing, Unmanned Surface Vehicle

**Science Code:** 616.01.00

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi danışmanlığımı üstlenerek, her daim desteğini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Öğr. Üyesi Şenol Hakan KUTOĞLUN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Eray KÖKSAL'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmada yardımlarını esirgemeyen Yük. Müh. Şevki ÜNAL'a ve Yük Müh. Beste GÜNGÖR'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bugünlere gelmem için maddi ve manevi olarak beni destekleyen, gösterdikleri fedakârlıklarla bu tezi bitirmeme destek olan annem Nazlıhan SAĞDIÇ, babam Eyüp SAĞDIÇ ve kardeşlerim Seval SAĞDIÇ ÖZBEK, Sevil SAĞDIÇ AKINCI, Sıla SAĞDIÇ'A teşekkür ederim. Bilgisi ve tecrübesiyle bana desteğini esirgemeyen arkadaşım Seçkin BOZDAĐ'a teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI .....	2
BÖLÜM 2 HİDROGRAFİK ÖLÇMELER .....	3
2.1 TANIM .....	3
2.2 HİDROGRAFİK ÇALIŞMALARA TARİHSEL BİR BAKIŞ .....	3
2.3 KLASİK İSKANDİL YÖNTEMLERİ.....	7
2.3.1 Lata İskandil Yöntemi .....	7
2.3.2 İpli İskandil Yöntemi .....	8
2.3.3 Tel İskandil Yöntemi .....	9
2.4 MODERN İSKANDİL YÖNTEMLERİ .....	10
2.4.1 Akustik İskandil Yöntemi .....	10
2.4.1.1 Tek Işınlı Akustik İskandil Yöntemi .....	13
2.4.1.2 Çok Işınlı Akustik İskandil Yöntemi .....	14
2.5 HİDROGRAFİK ÖLÇMELERDE STANDARDİZASYON .....	15

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

2.5.1 Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHOD) Tarafından Hidrografi Faaliyetlerinde Uygulanan Standartlar Ve Yöntemler .....	17
---	----

BÖLÜM 3 UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ .....	19
---	----

3.1 UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ .....	19
3.2 ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM .....	20
3.2.1 Suyun Spektral Yansıtım Özelliği .....	21
3.3 UZAKTAN ALGILAMADA ÇÖZÜNÜRLÜK ÇEŞİTLERİ .....	21
3.4 BATİMETRİK ÇALIŞMALARDA KULLANILAN UYDU SİSTEMLERİ .....	22
3.4.1 Sentinel-2 Uydu Sistemi .....	22
3.4.2 WorldView-2 ve WorldView-3 Uydu Sistemi .....	23
3.4.3 Quickbird-2 Uydu Sistemi	25
3.4.4 Ikonos Uydu Sistemi .....	26
3.4.5 Landsat-8 Uydu Sistemi .....	27
3.5 UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK BAĞIL VE MUTLAK DERİNLİKLERİNİN ÇIKARIMI .....	28
3.5.1 Veri Ön İşleme .....	29
3.5.1.1 Geometrik Düzeltme .....	30
3.5.1.2 Dijital Numara Değerlerini Parlaklık Değerlerine Dönüştürme .....	31
3.5.1.3 Görüntü İyileştirme .....	31
3.5.2 Veri İşleme .....	32
3.5.2.1 Bağıl Su Derinliği .....	33
3.5.2.2 Mutlak Su Derinliği .....	35

BÖLÜM 4 UYGULAMA .....	37
------------------------	----

4.1 ÇALIŞMA BÖLGESİ .....	37
---------------------------	----

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

4.2 İNSANSIZ SU ÜSTÜ ARACI KULLANILARAK BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ .....	38
4.3 UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ	43
4.3.1 Uydu Görüntü Seçimi .....	43
4.3.2 Yazılım Seçimi .....	43
4.4 YÖNTEM .....	44
4.4.1 Veri Ön İşleme .....	44
4.4.1.1 Uydu görüntüsündeki Spektral Bantların Birleştirilmesi .....	44
4.3.1.2 Radyometrik Düzeltme .....	46
4.3.2 Veri İşleme .....	47
4.3.3 Çalışma Alanı (ROI) Belirleme .....	50
4.4 AKUSTİK İSKANDİL VE UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN BATİMETRİK HARİTALARIN KARŞILAŞTIRILMASI .....	52
4.4.1 Engebeli Dip Topografyasına Sahip (a) Bölge Analizleri .....	55
4.4.2 Düz Dip Topografyasına Sahip (b) Bölgesi Analizleri .....	60
BÖLÜM 5 SONUÇLAR .....	65
KAYNAKLAR .....	69
ÖZGEÇMİŞ .....	73



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Piri Reis'in Portolane Dünya Haritası .....	4
Şekil 2.2 John Mercer Brooke Tarafından Geliştirilen İpli İskandil Aleti .....	5
Şekil 2.3 Lucas Tel İskandil Aleti .....	6
Şekil 2.4 Lata İskandil Yöntemi .....	8
Şekil 2.5 İpli İskandil Yöntemi .....	9
Şekil 2.6 Tel İskandil Yöntemi .....	10
Şekil 2.7 Akustik Derinlik Ölçüm Prensibi .....	12
Şekil 2.8 Tek Işınlı Akustik İskandil Ölçüm Prensibi.....	13
Şekil 2.9 Multibeam Ölçüm Prensibi. ....	15
Şekil 3.1 Uzaktan Algılama Sistemleri. ....	19
Şekil 3.2 Elektromanyetik Spektrum .....	20
Şekil 3.3 Sentinel-2 Uydusu .....	22
Şekil 3.4 (a) WorldView-2 Uydusu (b) WorldView-3 Uydusu .....	24
Şekil 3.5 QUICKBIRD Uydusu .....	25
Şekil 3.6 IKONOS Uydusu .....	26
Şekil 3.7 Ikonos Uydusu .....	27
Şekil 3.8 Görüntü İşleme Adımları .....	29
Şekil 3.9 a) En yakın komşuluk yöntemi, b) Bilineer enterpolasyon, c) Kübik katlama .....	30
Şekil 3.10 Regresyon Eğrisi. ....	36
Şekil 4.1 Filyos Limanı. ....	38
Şekil 4.2 Batimetrik Ölçüm Yapılan Güne ait Rüzgar ve Dalga Tahmin Haritası .....	39
Şekil 4.3 İnsansız Su Üstü Aracı.....	40
Şekil 4.4 Ses Hızı Ölçüm Ekranı.....	41
Şekil 4.5 İnsansız Su Üstü Aracı ile Batimetrik Ölçümü ve Ölçüm Hatları Görüntüsü .....	42
Şekil 4.6 Çalışma Bölgesinde Üretilen Bütünleşik Batimetrik Veriler.....	43
Şekil 4.7 Görüntü Bandlarının ENVI 5.3'te Birleştirilmesi.....	45
Şekil 4.8 ENVI Classic 5.3 Yazılımı Band Math Modülü .....	47
Şekil 4.9 Radyometrik Düzeltmesi Yapılmış Görüntü.....	47

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
Şekil 4.10 ENVI Classic 5.3 Yazılımı Relative Water Depth Modülü .....	48
Şekil 4.11 ENVI Classic 5.3 Yazılımı Relative Water Depth Modülü Kontrol Noktalarının Yüklenmesi .....	49
Şekil 4.12 a) Lineer Regresyon Modeli, b) En Küçük Sapma Modeli, c) En Küçük Kareler (Polinomal) Modeli.....	49
Şekil 4.13 Mutlak Derinlik Görüntüsü .....	50
Şekil 4.14 ROI Alanının Belirlenmesi .....	51
Şekil 4.15 ROI Alanının Oluşturulmuş Hali .....	52
Şekil 4.16 İnsansız Su Üstü Aracı Kullanılarak Ölçülen Batimetrik Harita Sayısal Derinlik Modeli.....	53
Şekil 4.17 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Üretilen Batimetrik Harita Sayısal Derinlik Modeli.....	53
Şekil 4.18 Analizde Kullanılan Ortak Alan (Kırmızı Hat).....	54
Şekil 4.19 10 m Aralıklı Grid Üretimi .....	54
Şekil 4.20 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m Aralıklı Grid Modeli (Batimetrik Ölçüm)....	55
Şekil 4.21 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m Aralıklı Grid Modeli ve İzobat Eğrileri .....	56
Şekil 4.22 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m aralıklı Grid Modeli (Uydu Bazlı) .....	56
Şekil 4.23 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m Aralıklı Grid Modeli ve İzobat Eğrileri (Uydu Bazlı) .....	57
Şekil 4.24 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m Aralıklı Grid Model Boykesit (Batimetrik Ölçüm) .....	58
Şekil 4.25 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m Aralıklı Grid Model Boykesit (Uydu Bazlı).....	58
Şekil 4.26 Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m Aralıklı Grid Modeli (Batimetrik Ölçüm) .....	61
Şekil 4.27 Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m Aralıklı Grid Modeli ve İzobat Eğrileri (Batimetrik Ölçüm).....	61
Şekil 4.28 Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m Aralıklı Grid Modeli (Uydu Bazlı) .....	62
Şekil 4.29 Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m Aralıklı Grid Modeli ve İzobat Eğrileri (Uydu Bazlı) .....	62
Şekil 4.30 Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m Aralıklı Grid Model Boykesit (Batimetrik Ölçüm).....	63
Şekil 4.31 Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m aralıklı Grid Model Boykesit (Uydu Bazlı).....	63

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Hidrografik Mesahalar için Minimum Standartların Özeti.....	16
Çizelge 3.1 Sentinel-2 Uydu Band Özellikleri.....	23
Çizelge 3.2 WorldView-2 ve WorldView-3 Uydularının Band Özellikleri.....	24
Çizelge 3.3 Quickbird Uydusu Band Özellikleri .....	25
Çizelge 3.4 Ikonos Uydusu Band Özellikleri.....	26
Çizelge 3.5 Lansad-8 Uydusu Band Özellikleri .....	27
Çizelge 4.1 İnsansız Su Üstü Aracı Teknik Özellikleri .....	40
Çizelge 4.2 Echosounder Teknik Özellikleri .....	40
Çizelge 4.3 Lansad-8 Uydu Görüntüsünde Kullanılan Band Özellikleri.....	45
Çizelge 4.4 Radyometrik Düzeltmeler Yapılabilmesi için Kullanılan Değerler.....	46
Çizelge 4.5 ROI için Seçilen Referans Nokta Koordinatları .....	51
Çizelge 4.6 Engebeli Dip Topografyası (a) Bölgesi Korelasyon Hesabı.....	59
Çizelge 4.7 Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) Bölgesi Korelasyon Hesabı.....	64



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$c$	: Işık Hızı
$B$	: Frekans Bölgesi
$\Delta$	: Delta
$\lambda$	: Lamda
$\alpha$	: Alpha
$\pi$	: Pi
$d$	: Yer Değiştirme
$f$	: Frekans
$\infty$	: Sonsuz
$\mu$	: Mikron
$\mu\text{m}$	: Mikrometre
$\text{nm}$	: Nanometre

### KISALTMALAR

<b>ALB</b>	: Airborne LIDAR Bathymetry/Hava Kaynaklı LIDAR Batimetri
<b>CAD</b>	: Bilgisayar Destekli Tasarım
<b>DN</b>	: Dijital Number/Dijital Numara
<b>ESA</b>	: European Space Agency/Avrupa Uzay Ajansı
<b>IHO</b>	: International Hydrographic Organization/Uluslararası Hidrografi Örgütü
<b>KOH</b>	: Karese Ortalama Hata
<b>LIDAR</b>	: Laser Imaging Detection and Ranging
<b>LLT</b>	: Log Linear Transformations/Logaritmik Doğrusal Dönüşüm
<b>LRT</b>	: Log Ratio Transformations/ Logaritmik Oran Dönüşümü
<b>MNDWI</b>	: Modified Normalized Difference Water Index
<b>NASA</b>	: National Aeronautics and Space Administration
<b>NDWI</b>	: Normalized Difference Water Index / Normalleştirilmiş Fark Su Endeksi xiv

## KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

<b>NIR</b>	: Near İnfrared / Yakın Kızılötesi
<b>NOAA</b>	: National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>OLI</b>	: Operational Land Imager
<b>ROI</b>	: Region Of Interest/ İlgilenilen Bölge
<b>SBES</b>	: Single Beam EchoSounder /Tek Işınlı Echosounder Sistemi
<b>SDB</b>	: Satellite Derived Bathymetry / Uydu Bazlı Batimetri
<b>SWIR</b>	: Short-wave infrared /Kısa Dalga Kızılötesi
<b>SYM</b>	: Sayısal Yükseklik Modeli
<b>TIRS</b>	: Thermal İnfrared Sensor
<b>TM</b>	: Thematic Mapper
<b>TUDES</b>	: Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi
<b>TVU</b>	: Toplam Düşey Hata /Total Vertical Uncertainty
<b>UA</b>	: Uzaktan Algılama USGS /United States Geological Survey

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevreli ve birçok göl, baraj, körfez gibi su toplama alanlarına sahip bir coğrafyada bulunmaktadır. Teknonik hareketliliğin sürekliliği, insan nüfusunun artışı ve yaşam standartlarının değişmesi sonucu su kaynaklarının korunması gerekliliğini artmıştır. Ayrıca Kıyı erozyonlarının ve kıyı kirliliğinin önlenmesi, su kaynaklarının korunmasında büyük önem arz etmektedir.

Sularla kaplı bölgelerin verimli biçimde kullanılabilmesi için su altı topografyasını da tüm detayları ile bilmek önemlidir. Bu topografik yapıyı detaylı bir şekilde ortaya çıkarmak için geçmişten günümüze hidrografik ölçümler yapılmaktadır.

Dünyanın yaklaşık yüzde 71'i sularla kaplıdır ve binlerce km'lik kıyı şeridi bulunmaktadır. Ülkemizde de yaklaşık 8333 km'lik kıyı şeridine sahip olduğunu göz önünde bulundurursak kıyı alanlarının daha verimli kullanmak için kıyı erozyonlarının önlenmesi, limanların ve balıkçı barınaklarının kumlamalarının önlenmesi, liman planlamalarının yapılması gibi kıyı mühendisliği çalışmaları önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmalar için hidrografik çalışmalara gereksinim duyulmaktadır.

Hidrografi, okyanusların, denizlerin, kıyı alanlarının, göllerin ve nehirlerin fiziksel özelliklerinin ölçülmesi, tanımlanması ve zaman içindeki değişikliklerinin tahmin edilmesi ile ilgilenen uygulamalı bir bilim dalıdır (URL 1). Hidrografik ölçümler yapılarak su altı dip topografyası belirlenmektedir.

Hidrografik ölçme teknikleri ve ekipmanları geçmişten günümüze oldukça değişime uğramıştır. Derinlik belirleme anlamında kullanılan iskandil çalışmalarında yüzeyden dibe mümkün olduğunca dik doğrultuda gözlemler yapılır. Bu gözlemleri belirli bir plan dâhilinde ve her

derinlik belirlenen noktada yatay konumunda ölçüm alınması sonucunda çalışma bölgesinin detaylı derinlik haritası oluşturulabilir.

Aşağıdaki bölümde çalışmanın amacı anlatıldıktan sonra geçmişten günümüze Hidrografik çalışmalar özetlenerek modern teknoloji detaylı olarak anlatılmıştır.

## 1.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Teknolojinin gelişimi ile iskandil yöntemleri de gelişmiş, klasik ve modern yöntemler olarak ayrılmıştır. Modern yöntemlerde ses dalgalarının yayılım esaslarına dayanan Akustik iskandil yöntemi oldukça fazla kullanım alanı bulmuştur. Bu yöntemde bir su üstü aracından su altı topografyasına gönderilen ses dalgalarının gidiş-geliş süresi ölçülür. Suda yayılan ses hızı da biliniyorsa derinlik belirlenmiş olur.

Akustik iskandil yönteminde görece, daha ucuz olan tek ışınli akustik iskandil sistemi kullanıldığı durumlarda derinlik ölçümü noktasal bazda olmaktadır. Çok ışınli (multi beam) akustik iskandil sistemleri ise oldukça pahalı bir sistem olup alan taraması yaparak ölçümü gerçekleştirmektedir. Bu yüzden tek ışınli (single beam) akustik iskandil kullanılarak geniş alanların batimetrik harita üretimi uzun ve zahmetli olmaktadır. Bu nedenle alternatif olarak uzaktan algılama teknikleri de kullanılabilir. Uzaktan algılama tekniğinde ise multispektral uydu görüntüleri kullanılmaktadır. ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından geliştirilen Log Ratio Transformation (LRT) yöntemi, oran dönüşüm algoritmasını da kullanmaktadır. Bu yöntem derinlik hesaplanmasında sıklıkla kullanılan etkin bir yöntemdir (Stumpf vd. 2003).

Bu çalışmada Zonguldak ilinde engebeli dip topografyasına sahip bölge ve düz dip topografyasına sahip örnek bir bölge belirlenmiştir. Bölgeye ait güncel Landsat-8 uydu görüntüleri üzerinden LRT yöntemi kullanılarak üretilen batimetrik harita, bölgede akustik iskandil yöntemi ile oluşturulan batimetrik harita ile karşılaştırılarak yöntemlerin kullanılabilirliği analiz edilmiştir. Bölgelerin akustik iskandil ölçümlerinin yapılabilmesi için insansız su üstü aracı tasarlanmış ve ölçümlerde bu araç kullanılmıştır. Farklı tekniklerle üretilen iki batimetrik haritanın karşılaştırılmasında, bölgenin belirli alanlarından ip iskandil yöntemi ile alınan veriler de derinlik kalibrasyonu için kullanılmıştır.

## BÖLÜM 2

### HİDROGRAFİK ÖLÇMELER

#### 2.1 TANIM

Hidrografi su altı derinliğini, sulardaki akıntıların şiddetini, yönünü konu edinir. Yeryüzündeki suların, özellikle seyir haritalarının oluşturulmasına yönelik olarak incelenmesi konularını ele almaktadır. Başka bir deyişle hidrografi, bir bölgenin sualtı topografyasını ve yapısını belirlemek için yapılan ölçme bilimidir (Özgen ve Algül 1977).

Hidrografik Ölçmeler ilk olarak su üstü aracının yatay konumunun belirlendiği mevki koyma işlemi yapılır. Aynı zamanda mevki koyma işleminin yapıldığı noktada derinlik (iskandil) ölçülür.

İlk hidrografik ölçümlerin yapımında, önceden uzunluğu ölçülmüş ipler veya kaplanmış uzunluk kabloları gemilerden su altına sarkıtılarak su derinliği belirlenmiştir. Bu zaman alıcı ve sınırlayıcı yöntem zamanla teknolojinin gelişmesi ile yerini akustik iskandil yöntemine bırakmıştır. Bir sonraki bölümde geçmişten günümüze Hidrografi çalışmalarının tarihsel gelişimine değinilecektir.

#### 2.2 HİDROGRAFİK ÇALIŞMALARA TARİHSEL BİR BAKIŞ

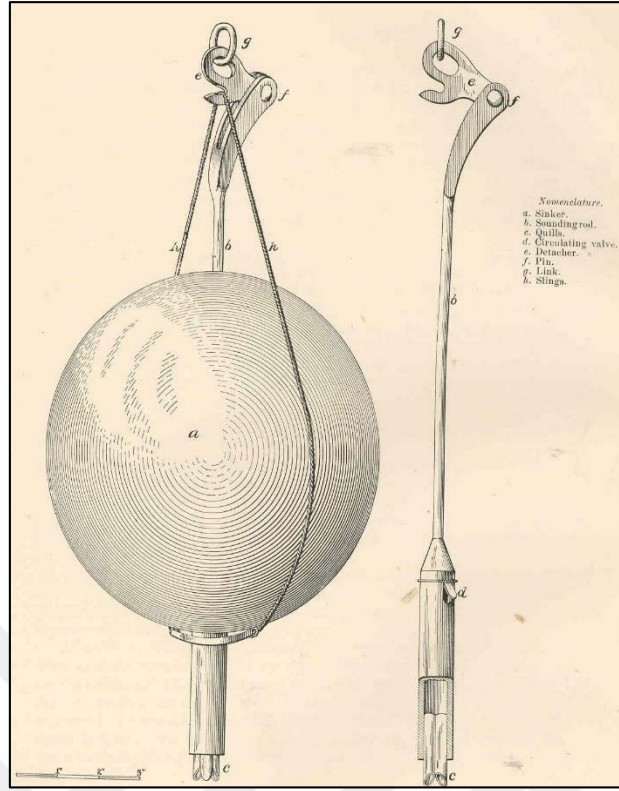
XII. yüzyılda Arapların pusulayı icat etmesi ve cihazın denizciler tarafından kullanılmaya başlanması, insanoğlu için yeni bir çağ açmıştır. O zamana kadar bilinmeyen olan ve insanoğlu tarafından aşırı korkulan denizler hakkında bilgi edinmek mümkün olmuştur. İnsanoğlu pusula sayesinde denizlere açılmış, bu bilinmeyene ait veriler, bilgiler toplanmış ve bu sayede önemi de anlaşılmıştır.

Bu anlamdaki ilk deniz haritaları İtalya kıyılarına ait olan ve doğrultu ile uzaklık ölçme prensibine göre üretilmiş “Portolane” haritalardır. Pusula Haritası olarak da bilinen bu haritalar çok uzun süre denizciler tarafından kullanılmıştır. Portolane haritalar için en iyi örnek Piri Reis tarafından yapılmış ünlü dünya haritası gösterilebilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Piri Reis'in Portolane Dünya Haritası (URL 2).

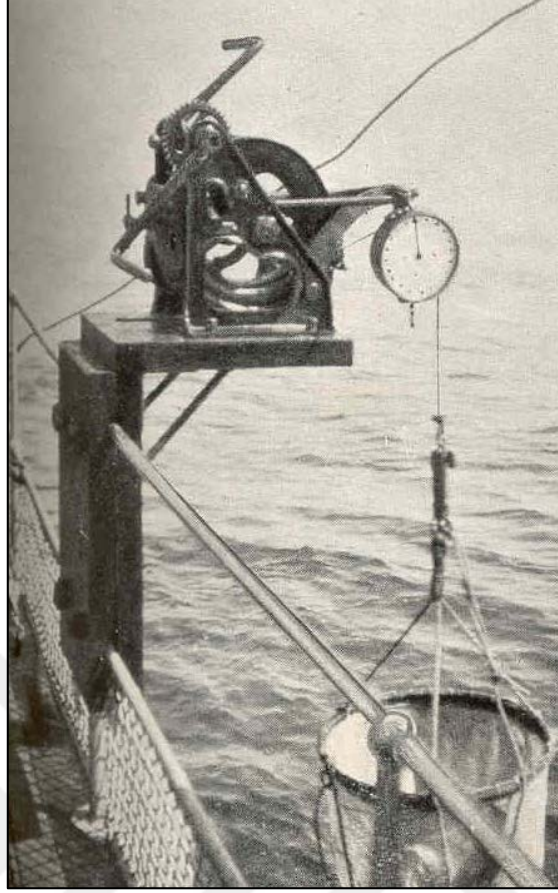
XVIII. yüzyıl başlarında daha çok kıyıya yakın sığ derinlikler ölçülebilmştir. Daha derin bölgelerde derinlik belirleme amacı ile XIX. yüzyılın ortasına, Amerikalı denizci John Mercer Brooke "ağırlık atarak iskandil" yöntemini uygulamıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 John Mercer Brooke Tarafından Geliştirilen İpli İskandil Aleti (URL 3).

Derinliklerin ses dalgaları ile ölçülebileceğini ilk öne süren kişi Fransız fizikçi Dominique Francois Jean Arago'dur. 1828 yılında su kaplı ortamlardaki ses hızını ilk kez ve oldukça hassas bir şekilde Daniel Calladon ve Charles Strum ölçmüştür. Bu amaçla Genova Gölünde yaptıkları çalışmada sudaki ses hızını 1435 m/sn olarak ölçmüşlerdir (Theberge 1989).

1872 yılında İngiliz Sir William Thomson'un mekanik iskandil cihazını bulmasından sonraki 50 yılda tel iskandil aletleri gelişmiştir. Dönemin en gelişmiş tel iskandil cihazı olarak gösterilen ve İngiliz gemilerinde kullanılan Lucas İskandil aleti Şekil 2.3'te gösterilmiştir (Theberge 1989).



**Şekil 2.3** Lucas Tel İskandil Aleti (URL 4).

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak akustik ses dalgaları kullanarak derinlik belirleme yöntemlerinde çok fazla ilerleme yaşanmıştır. Bu gelişmeye paralel olarak tek ışınlı akustik sistemlerden çok ışınlı akustik sistemlere geçiş yapılabilmektedir.

Temelleri 1950'li yıllarda atılan uzaktan algılama tekniklerinin bu dalda kullanılma fikri ortaya çıktıktan sonra uzaktan algılama teknikleri ile batimetrik harita üretiminin de yolu açılmış oldu.

1990'lı yıllardan sonra gelişen havadan lazer iskandiller ile özellikle boğaz, kanal gibi sığ alanlar ile kıyı alanlarında ölçmeler yapılmakta ve sayısal arazi modelleri kolaylıkla oluşturulmaktadır

Batimetri çalışmalarına tarihsel açıdan bakıldıktan sonra bir sonraki bölümde klasik ve modern olarak ele alınan derinlik belirleme yöntemleri anlatılacaktır.

## 2.3 KLASİK İSKANDİL YÖNTEMLERİ

Derinlik belirleme anlamına gelen iskandil yöntemleri klasik ve modern yöntemler olarak ele alınmaktadır. Bu bölümde klasik ve modern iskandil yöntemleri anlatılmıştır.

### 2.3.1 Lata İskandil Yöntemi

Derinlik belirlemek için kullanılan latalar, 4-6 m uzunluğunda, 5-7 cm yarıçapında renklendirilmiş desimetre bölüm kesitlerine sahip ahşap ya da hafif metalden yapılmış ölçüm çubuklarıdır. Dip topoğrafyasının yoğun bitki örtüsü ile kaplı olduğu bölgelerde direkt zemine temas ettiği için yöntem bu bölgelerde en iyi sonucu vermektedir. Günümüzde akustik sistemlerin problem yarattığı bu bölgelerde lata iskandil yöntemi halen tercih edilmektedir (Şekil 2.4).

Lata iskandil yönteminin uygulamasında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Ölçümlerde latanın düşey doğrultuda olmasına, latanın ucunun zemine değmiş olmasına, tekne hızının mümkün ise  $v < 1.0$  m/s olmasına dikkat edilmelidir (Özgen ve Algül 1977).



**Şekil 2.4** Lata İskandil Yöntemi (URL 5).

### **2.3.2 İpli İskandil Yöntemi**

Su ortamlarında esnemesin diye keten, kenevir sentetik liflerden yapılmış iplerin ucuna ağırlık takılarak yapılan derin ölçüm tekniğidir. Günümüzde ise ipin esnemesinin önüne geçebilmek için zincir kullanılmaktadır.

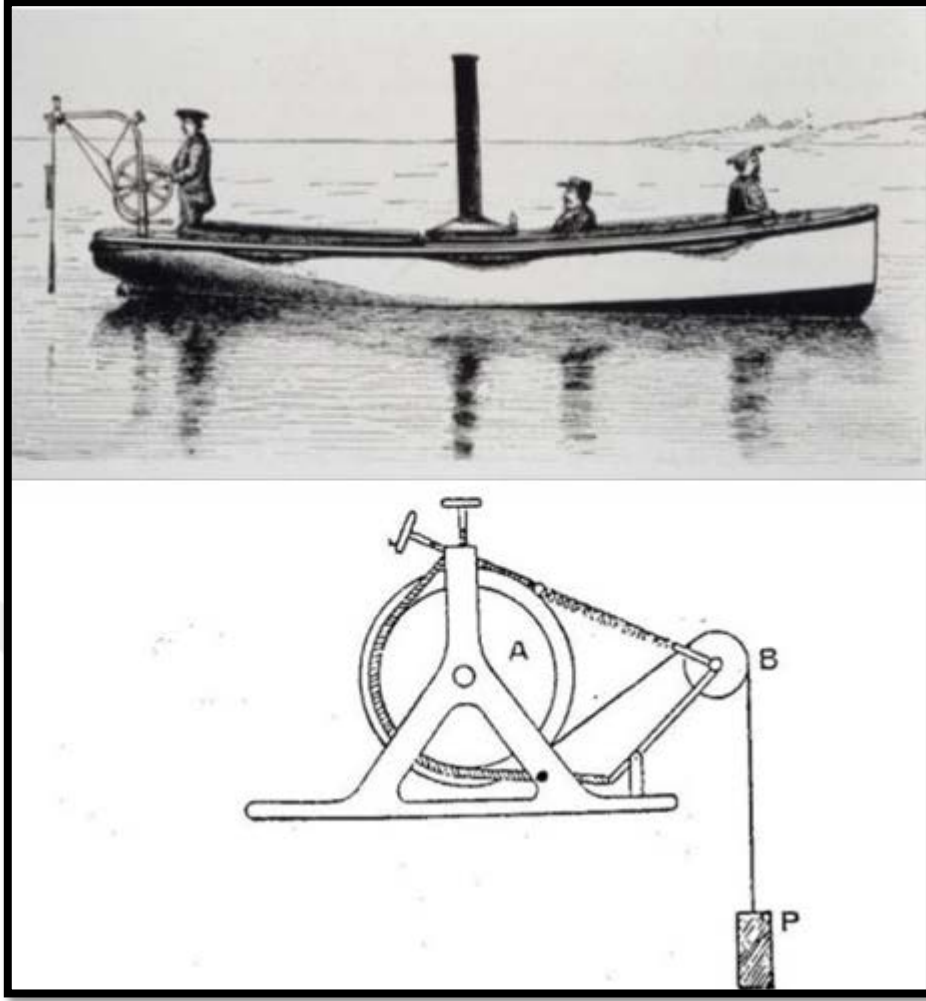


**Şekil 2.5 İpli İskandil Yöntemi (URL 6).**

Ölçme dalgalı bir günde yapılıyor ise su içerisine bırakılan ipin su kesim çizgisi net okunamayabilir. Bu durumdan olumsuz etkilenmemek için okumaların dalgasız havada yapılması tercih edilmelidir (Şekil 2.5), (Ünal 2019).

### **2.3.3 Tel İskandil Yöntemi**

Lata veya ip kullanılarak yapılan derinlik ölçmeleri oldukça zahmetlidir. Özellikle bölgedeki derinlikler 30 m veya daha derin olması durumunda tel iskandil yöntemi tercih edilmektedir. Bu yöntemde teknenin ucuna ağırlık bağlanmış bir tel ve telin sağılıp sarılmasını kolaylaştırmak için bir makara sistemi vardır (Şekil 2.6). Bu nedenle tel iskandiline makaralı veya mekanik iskandil gibi isimlerde de adlandırılır (Örgören 2011).



Şekil 2.6 Tel İskandil Yöntemi (URL 7).

## 2.4 MODERN İSKANDİL YÖNTEMLERİ

Özellikle akustik ölçüm teoremindeki gelişmelerin ardından, klasik ölçüm yöntemlerinde yapılan derinlik ölçümleri günümüzde yerini, uzaktan algılama teknikleri ve havadan lazer iskandil yöntemlerine bırakmıştır.

### 2.4.1 Akustik İskandil Yöntemi

Akustik ölçümler, sesin suda yayılması esaslarına dayanır. Ses dalgalarını su altı topografyasına doğru gönderen iskandil aleti, topografyadan geri yansıyan ses dalgalarının gidiş ve dönüşü arasındaki zaman farkını hesaplayarak derinlik verisini hesaplar ve yatay konumlandırma verisi ile ilişkilendirip kaydeder (IHO 2008).

Basıncın su, hava ve katı ortamlarda yayılmaları ses olarak tanımlanmaktadır. Ses dalgaları ise, mekanik olarak titreşim üreten bir cismin herhangi bir ortamda ve 16 Hz ile 20 Mhz frekansları arasında oluşturduğu dalgalardır (Başaran 1981).

16 KHz ile 10 GHz arasındaki sesler, ultra ses dalgası olarak bilinir. Ultra seslerin dalga boyları küçük olduğundan, bu seslerin dar bir alanda demetlenmesi ve yöneltilmesi mümkün olmaktadır. Demetlenmiş ultra ses koni şeklinde bir yüzey içinde yayılmaktadır (Özgen ve Algül 1977). Ultra ses dalgaları su içinde fazla yutulduklarından sığ sularda yapılan derinlik ölçmelerinde kullanılmaktadır. Ses dalgaları su ortamında havadakine nazaran 4 kat daha hızlı ilerlemektedir. Bu nedenle derinlik ölçmelerinde akustik ses dalgaları tercih edilir.

Ses dalgalarının taşıdığı akustik enerji, hidrofona adı verilen ve akustik dalgayı elektrik enerjisine çeviren aletler ile ölçülebilmektedir. Ses dalgasının genliği, dalganın taşıdığı akustik enerjiye bağlıdır. Genliği büyük olan dalga daha çok enerji taşımaktadır (Ünal 2019).

Ses dalgalarının su ortamındaki yayılma hızı, yoğunluk, tuzluluk, sıcaklık ve basıncın değişimine bağlıdır. Sudaki ses hızı değişimleri, akustik dalgaların hızını etkilediğinden, akustik iskandil ölçümlerinden önce ses hızının belirlenmesi gerekir (Özgen ve Algül 1977).

Akustik ses dalgalarının hızlarında meydana gelen değişimler, ses ışınlarını büker. 100-150 metrelik yüzey suyunda meydana gelen sıcaklık değişimleri, eğilmelere bükülmelere ve dolayısı ile ölçülen derinliğin daha büyük çıkmasına neden olurlar. Basınç değişimine paralel olarak yayılma hızı da artar ve sadece basınç değişiminden kaynaklı ses hızı değişimi yüzey ile 3000 m arasında yaklaşık 50 m/s mertebelerine ulaşabilir (Ünal 2019).

Sudaki ses hızını belirleyebilmek için birçok formül türetilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanlarından ve Wilson tarafından türetilen formülde (2.1); sesin, deniz suyundaki hızı;

$$V = V_0 + V(t) + V(p) + V(S) + V(stp) \quad (2.1)$$

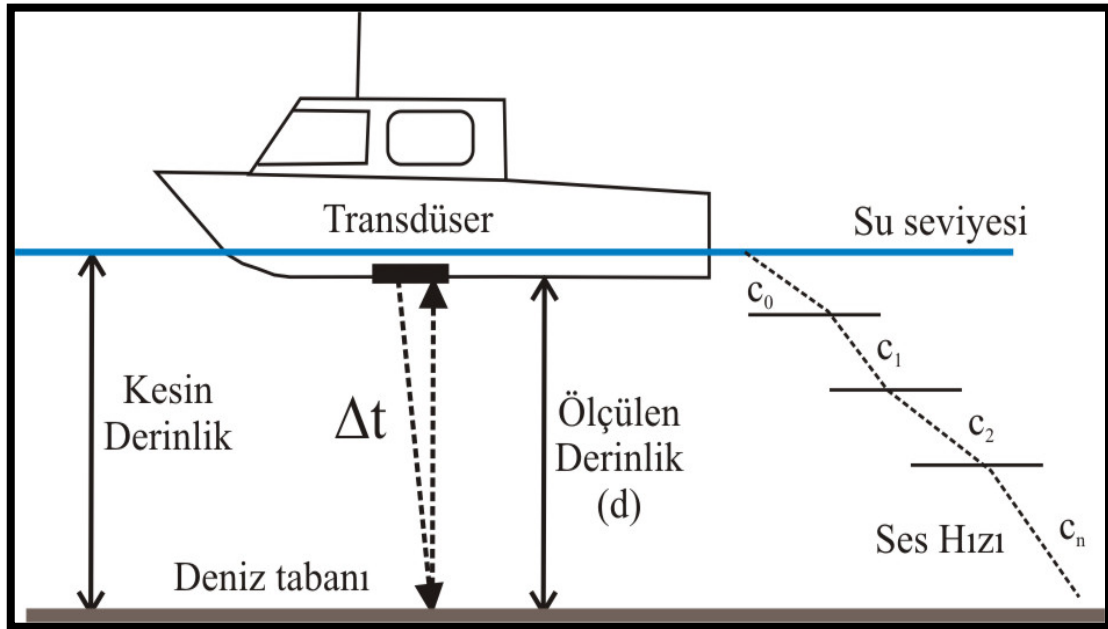
olarak verilmiştir.

Burada;

- $V_0$ , 0 °C sıcaklığında, %3.5 tuzluluğunda ve 750 mm cıva basıncındaki ses hızıdır (1449.14 m/s)
- $V(t)$ , sıcaklık
- $V(p)$ , basınç
- $V(s)$ , tuzluluk
- $V(stp)$  s, t ve p çarpımları ile ilgili bir polinom olarak verilmiştir.

Su ortamında ses hızındaki değişimleri ölçmek için **batitermograf** adıyla bilinen bir alet kullanılmaktadır. Teknolojinin de gelişmesi ile bu alet yerine **CSTD** (iletkenlik, tuzluluk, sıcaklık ve derinlik) ölçer adıyla bilinen modern sistemler kullanılmaya başlanmıştır.

Ses hızı hassas bir şekilde üretilmiş ortamda ikincil aşamada, ses üreticisi ya da “Transdüser” olarak isimlendirilen üreteçten çıkan puls, dip topografyasına çarpıp geri döner ve arada geçen zaman hassas bir şekilde ölçülür. Arada geçen zaman belirlenerek derinlikler basit bir şekilde ölçülmüş olur (Şekil 2.7) (Özgen ve Algül 1977, USACE 2002, Doğan ve Alpar 1994).



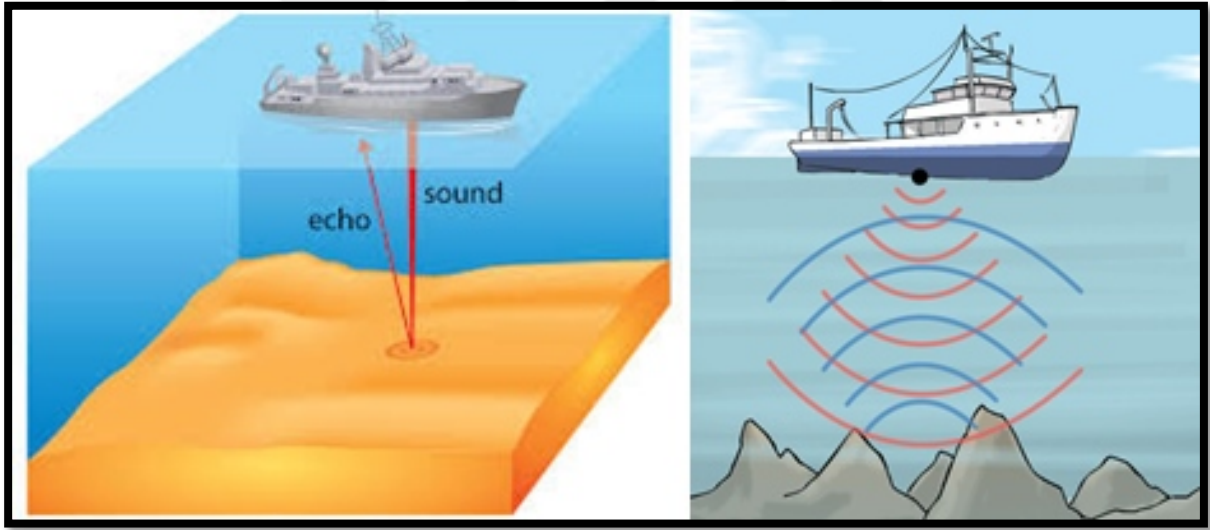
Şekil 2.7 Akustik Derinlik Ölçüm Prensipleri (Aykut 2009).

### 2.4.1.1 Tek Işınlı Akustik İskandil Yöntemi

Derinlik ölçümü, 2 çeşit ünite ile ölçülmektedir. Biri göndereci-alıcı denilen transdüser ünitesi diğeri ise kontrol-kayıt yapılan ekograf ünitesidir. Su araçlarının suda kalan kısmına takılan Transdüser adı verilen alet suya ses dalgalarını yayar ve geri dönen ses dalgalarını toplar.

Transdüser tarafından üretilen ses dalgası ile topografyadan dönen dalga Kontrol ünitesinde karşılaştırılır ve aradaki  $\Delta t$  süresi elektronik anlamda belirlenir. CSTD ile ölçülüp kontrol ünitesine girilen ses dalgalarının suyun içerisindeki yayılım hızı (C) bilinmektedir. Böylelikle basit fizik kuralı ile (2.2) derinlik belirlenebilir. Kontrol ünitesinde bulunan çizici ve kayıt kâğıdı sayesinde dip topografyası profili elde edilir (Güngör 2019).

$$D = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \Delta t \quad (2.2)$$



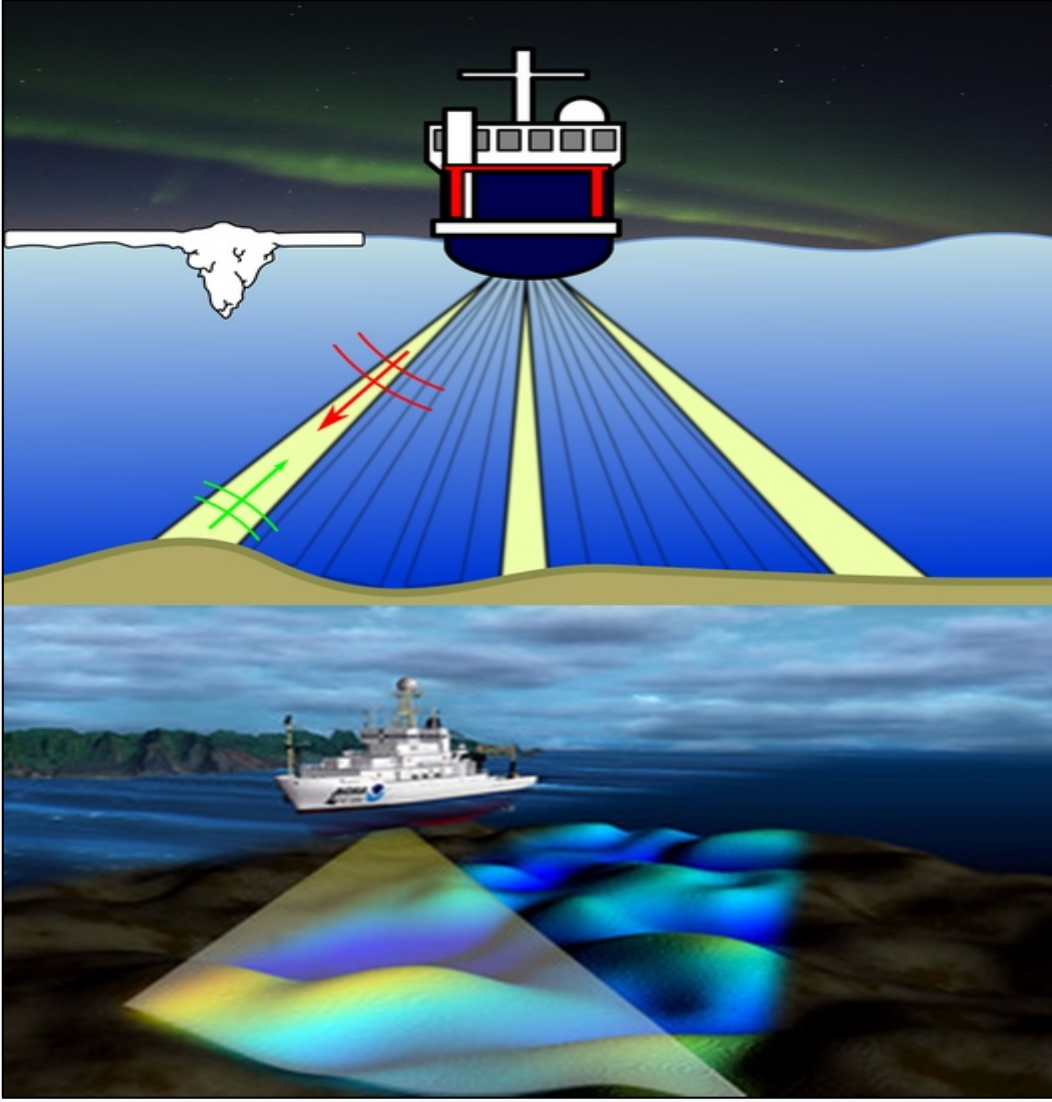
Şekil 2.8 Tek Işınlı Akustik İskandil Ölçüm Prensipli (URL 8).

Transdüserden konik biçimde çıkan ses dalgalarından dönen dalgalar derinlik verilerini oluşturur (Şekil 2.8). Dip topografyasının eğimli olduğu bölgelerde ölçülen derinliklere eğim düzeltilmesi uygulamak gerekir.

### 2.4.1.2 Çok Işınlı Akustik İskandil Yöntemi

Çok Işınlı akustik iskandil yöntemi, temel olarak tek Işınlı iskandil yönteminin bir uzantısıdır. Basitçe, bir ışın demeti oluşturmak için hizalanmış bir dizi tek ışınlı transdüser olarak tanımlanabilir. Dönüştürücülerin tam olarak hizalanmasıyla, bir ölçüm aralığı araştırılabilir. Çok Işınlı dönüştürücünün alanı, tek bir dönüştürücü kirişinden çok daha geniştir ve böylece kapsamı arttırarak işletme maliyetlerini azaltır. Sistem, deniz tabanında birden fazla yeri tarayabilmektedir. Başka bir deyişle, bu sistem işlemi, aynı anda alt kısımdaki birkaç farklı yerde çalıştırılması nedeniyle dar tek Işınlı yankı sireni olarak adlandırılabilir (Şekil 2.9).

Sistemin tarama açısı  $90^{\circ}$  ile  $180^{\circ}$  arası değişime izin verecek şekilde tasarlanmıştır. Hassas ölçümlerde tarama açısı genellikle  $120^{\circ}$  alınır. Sistem genellikle derinliğin 4 katı alanı tarayabilmektedir (Ünal 2019).



Şekil 2.9 Multibeam Ölçüm Prensibi.

## 2.5 HİDROGRAFİK ÖLÇMELERDE STANDARDİZASYON

Her türlü ölçme çalışmasında belirli standartlara uyulmalıdır. Hem lokal hem de geniş çaplı çalışmalarda belirli standartlara uymayan çalışmaları projelerde kullanmak büyük problemlere yol açabilmektedir. Farklı zamanlarda yapılan çalışmalarda datum farkı gibi problemler olması verilerin yanlış yorumlanmasına sebebiyet verebilir. Bu olumsuzlukları gidermek için yönetmelikler hazırlanarak yapılan işin standartları ortaya konulur.

Hidrografik çalışmalarda ortak bir standart belirlemek amacı ile Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu (ISO) kurulmuştur. Kurum 1947 yılından bugüne kadar global anlamda standartları oluşturmak için uğraş vermektedir. Kurumun görevleri aşağıda özetlenmiştir;

- Hidrografi dairelerinin faaliyetlerini koordine etmek,
- Deniz harita ve dokümanlarında standardizasyonu sağlamak,
- Hidrografik ölçmelerin yapılması için güvenilir ve etkili yöntemler tespit ve kabul etmek,
- Hidrografi bilimleri ve oşinografi teknikleri geliştirmektir.

Ülkemiz İHO'ya 1969 yılında üye olmuştur. Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHOD), IHO faaliyetlerinde Türkiye'yi temsil yetkisine sahip kurumdur.

IHO 1998 yılında S44/4 ismi ile adlandırılan standartları hazırlanmıştır. Kendine üye olan ülkelerin de kullanımına sunulan S44/4, hidrografik ölçmelerdeki asgari standartları belirleyerek bu standartlara göre toplanacak verilerin denizciler tarafından güvenle kullanılabilmesi için doğru ve konumsal belirsizliklerin yeterince tanımlanmış olmasını sağlayacak şekilde belirleme amaçları ile hazırlanmıştır (Güngör 2019). Hidrografik mesahalar için kullanılan standartlar çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1** Hidrografik Mesahalar için Minimum Standartların Özeti.

DERECE	Özel	1	2	3
<b>Tipik Saha Örnekleri</b>	Limanlar, yanaşma yerleri ve minimum omurga altı kleransı olan kritik kanallar	Limanlar, liman yaklaşma suları, tavsiye edilen kanallar ve derinliği 100 m.'ye kadar olan bazı kıyı alanları	Özel Derece ve 1. Derece ile kapsanmamış veya derinliği 200 m.'ye kadar olan alanlar	Özel Derece, 1. ve 2. Derece ile kapsanmamış açık denizler
<b>Yatay Doğruluk (%95 güvenilirlik)</b>	2 m.	5 m. + derinliğin %5'i	20 m. + derinliğin %5'i	150 m. + derinliğin %5'i
<b>İndirgenmiş Derinlikler İçin Derinlik Doğruluğu (%95 güvenilirlik) (1)</b>	a = 0.25 m. b = 0.0075	a = 0.5 m. b = 0.013	a = 1.0 m. b = 0.023	2. Derece ile aynı
<b>%100 Dip Araştırması</b>	Zorunlu (2)	Seçilmiş sahalarda gerekir (2)	Seçilmiş sahalarda gerekebilir	Uygulanmaz
<b>Sistem Tespit Kabiliyeti</b>	1metreküpten büyük cisimler	40 m.'den siğ derinliklerde 2 metreküpten; 40 m.'den sonra derinliğin %10'undan büyük cisimler	1. Derece ile aynı	Uygulanmaz
<b>Maksimum Hat Aralığı (4)</b>	%100 dip kaplaması zorunlu olduğu için uygulanmaz	Ortalama derinliğin 3 katı veya 25m. (hangisi büyük ise)	Ortalama derinliğin 3-4 katı veya 200m. (hangisi büyük ise)	Ortalama derinliğin 4 katı

IHO tarafından yapılan çalışmalarda S44 Hidrografik Ölçme Standartları belirlenmiş olup derinliğe bağlı doğruluk kriteri belirlenmiştir (Elac 1982, Aykut ve Alkan 2016, Elhattab 2014). Limanlar için verilen formülde (2.3);

$$TVU = \pm\sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (2.3)$$

Verilen formülde;

- TVU, Toplam Düşey Hata (Total Vertical Uncertainty)
- $a$ , sabit derinlik hatası (tüm sabit hataların toplamı)
- $b \times d$ , derinliğe bağlı hataların toplamı
- $b$ , derinliğe bağlı hata faktörü
- $d$ ; derinlik olarak belirlenmiştir.

### **2.5.1 Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHOD) Tarafından Hidrografi Faaliyetlerinde Uygulanan Standartlar Ve Yöntemler**

Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHOD), Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nın Seyir, Hidrografi ve Oşinografi hizmetlerini sağlamayı amaçlayan ve bu konudaki kanunlar, talimatlar gereğince tüm denizcilere sorumluluğundaki deniz alanında hizmet veren, ulusal ve uluslararası organizasyonlarda bu konuda Türkiye'yi temsil eden bir kuruluştur (SHOD 2004).

1738 sayılı Seyir ve Hidrografi Hizmetleri Kanunu gereği, deniz haritalarının üretim ve yayınlama sorumluluğu Ülkemiz sınırları içerisinde SHOD sorumluluğundadır. Hidrografik ölçüm ve harita üretim çalışmaları Uluslararası Hidrografi Örgütünün (IHO) öngördüğü S44/4 standartları (Çizelge 2.1) çerçevesinde yapılmaktadır.



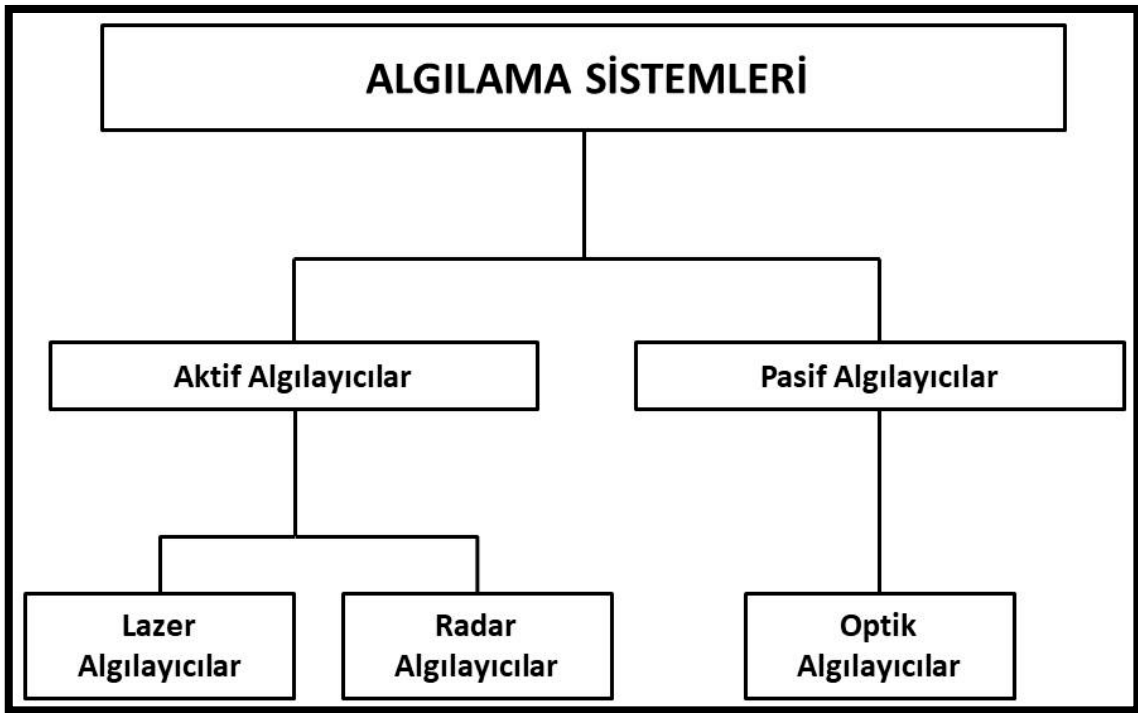
## BÖLÜM 3

### UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ

Bir önceki bölümde klasik ve modern iskandil yöntemleri anlatılmıştır. Tezin uygulamasında uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak çalışma alanına ait batimetrik harita üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple bu bölümde uzaktan algılama yöntemleri ile batimetrik harita üretimi detaylı olarak verilmiştir.

#### 3.1 UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ

Uzaktan Algılama, dünya ve diğer gezegenlerin topografyası ve üzerindeki fiziksel nesnelerin özellikleri hakkında doğrudan bir temas olmaksızın fiziksel veya kimyasal görüntülemeye dayalı bilgiler elde etme teknolojisidir. Bu teknoloji iki tane ana algılama tekniği üzerinden çalışmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Uzaktan Algılama Sistemleri.

**Pasif Algılayıcılar:** Güneşe Bağımlı olarak çalışan sistemlerdir. Güneşten gelen enerjinin yansımalarını kaydedip görüntüye çevirir.

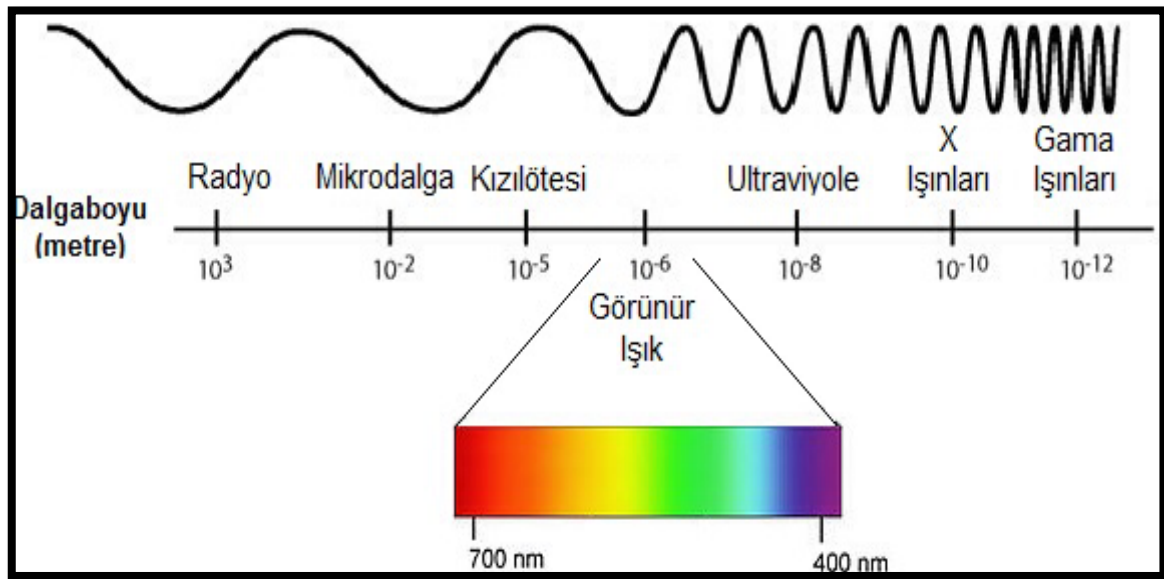
**Aktif Algılayıcılar:** Kendi enerjilerini kendileri üretirler. Alıcı ve gönderici antenler yardımıyla sinyalleri gönderip alır ve kaydederler.

### 3.2 ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM

Pasif ve aktif algılama dayalı fiziksel veya kimyasal görüntü oluşumu elektromanyetik radyasyon yani enerji kavramına dayanmaktadır. Enerji, maddedeki ısı ve ışıktan meydana gelir. Işık, elektromanyetik parçacıklara bağlıdır. Bu elektromanyetik ışınlar dalga boylarına ve taşıdıkları parçaların ton enerjisine göre değişkenlik gösterir.

Yeryüzündeki ışınım, dalga boyu, frekans gibi özelliklere ilişkin bilgileri yansıtan yelpazelere elektromanyetik spektrum denir.

Elektromanyetik spektrumda gözümüzün algılama yapabildiği bölge 0.4-0.7  $\mu\text{m}$  arasındadır. Uydular üzerinden yapılan derinlik ölçümlerinde de en düşük 400 nm Mor ve en yüksek 700 nm (kırmızı) dalga boyu kullanılır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Elektromanyetik Spektrum (URL 9).

Optik görüntüleme, hedef objelere gerçekleşen spektral yansımaların algılanmasına dayalı kimyasal bir işlemdir. Radar ve lidar görüntüleme ise sensörler yardımıyla hedef objeye radio ve mikrodalga sinyalleri gönderilmekte ve bu objelere çarpıp dönen sinyalleri alıp kaydetmek suretiyle fiziksel bir işlem gerçekleştirilmektedir. Böylelikle sinyal gücüne bağlı olarak piksel değerleriyle sayısal olarak tanımlanan görüntüler elde edilir. Aktif algılama sistemleri yeryüzü topografyasını ve morfolojisini, deniz ve kara ortamlarındaki morfolojik değişimleri çok hassas algılayabilmektedir.

### **3.2.1 Suyun Spektral Yansıtım Özelliği**

Suya gelen enerjinin birçoğu yutulur veya iletilir. Bu nedenle yansıma oldukça düşüktür. Suyun yansıtma özelliği, suyun derinliğine, su yüzeyinin berraklığına, dip topografyasına, sudaki organik madde ve klorofil miktarına bağlı olarak değişir. Suyun geçirgenliği ise, içerdiği organik veya organik olmayan maddelerin miktarına ve bunların büyüklüğüne bağlı değişir. Su bulanıklaştığında ise suyun geçirgenliği azalır ve yansımaları da artar (Kaçmaz 2005).

Suyun yansıtma özelliğinde etkisi olan krofil miktarı, yoğunluğunun artması sonucu suyun mavi dalga uzunluklarındaki yansıtmanın azalmasına, yeşil dalga uzunluklarındaki yansıtmasının ise artmasına neden olur. Kızılötesi bölge ele alındığında gelen ışınımın büyük bir kısmı absorbe olduğundan dolayı su koyu renkte görünür (Örmeci 1987).

### **3.3 UZAKTAN ALGILAMADA ÇÖZÜNÜRLÜK ÇEŞİTLERİ**

Uzaktan algılamada dört çeşit çözünürlük mevcuttur; uzaysal çözünürlük, zamansal çözünürlük, spektral çözünürlük, radyometrik çözünürlük. Uzaysal çözünürlük, piksel büyüklüğüdür. Görüntüde bir piksel içerisindeki alanın arazideki karşılığına denk gelen alandır. Zamansal çözünürlük, görüntünün alım periyodudur. Uydunun bir bölgeye ait görüntüsünün tekrar çekim için geçiş süresini ifade eder. Spektral çözünürlük, sistemin kaydedeceği spektral band sayısını ve band genişliklerini ifade eder. Radyometrik çözünürlük ise görüntüdeki gri değer sayısıdır.

### 3.4 BATİMETRİK ÇALIŞMALARDA KULLANILAN UYDU SİSTEMLERİ

#### 3.4.1 Sentinel-2 Uydu Sistemi

Sentinel-2 uydusu yüksek çözünürlüklü algılayıcıya sahip bir uydudur. Vejetasyon, toprak ve su kaplama alanları gibi arazi analizlerinin yapılmasını ve acil durum servisleri için bilgi aktarımı sağlamaktadır (URL 10).



Şekil 3.3 Sentinel-2 Uydusu (URL 11).

İki özdeş Sentinel-2 uydusu eşzamanlı olarak çalışır (Şekil 3.3). Güneş yörüngesine eşzamanlı yerleştirilen uydular, birbirlerine 180° de aşamalı iki kutup yörüngesindeki uydulardan oluşan birtakım uydular şeklindedirler. Uyduların her biri yaklaşık 1,2 ton ağırlığındadır. Uydunun ömrü 7,25 yıl olup, 3 aylık yörünge devreye alma aşamasını içerir. Piller ve itici gazlar, kullanım ömrü sonu yörüngesindeki manevralar da dâhil olmak üzere 12 yıllık operasyonları karşılamak üzere sağlanmıştır. Her Sentinel-2 uydusunun yörüngesindeki konumu, çift frekanslı Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) alıcısı tarafından ölçülür. Yörüngesel doğruluk, özel bir itiş sistemi ile korunur. Sentinel-2 uydusu pasif algılayıcı yeteneğine sahiptir. (URL 12).

Sentinel-2 uydusunda Multispectral Instrument (MSI) 13 adet spektral bant bulunmaktadır (Çizelge 3.1). 10 metre çözünürlüklü dört bant, 20 metrede çözünürlüklü altı bant ve 60 metre çözünürlüklü üç bant bulunmaktadır. Uyduların 290 km’lik bir alan genişliğine sahiptir (URL-13).

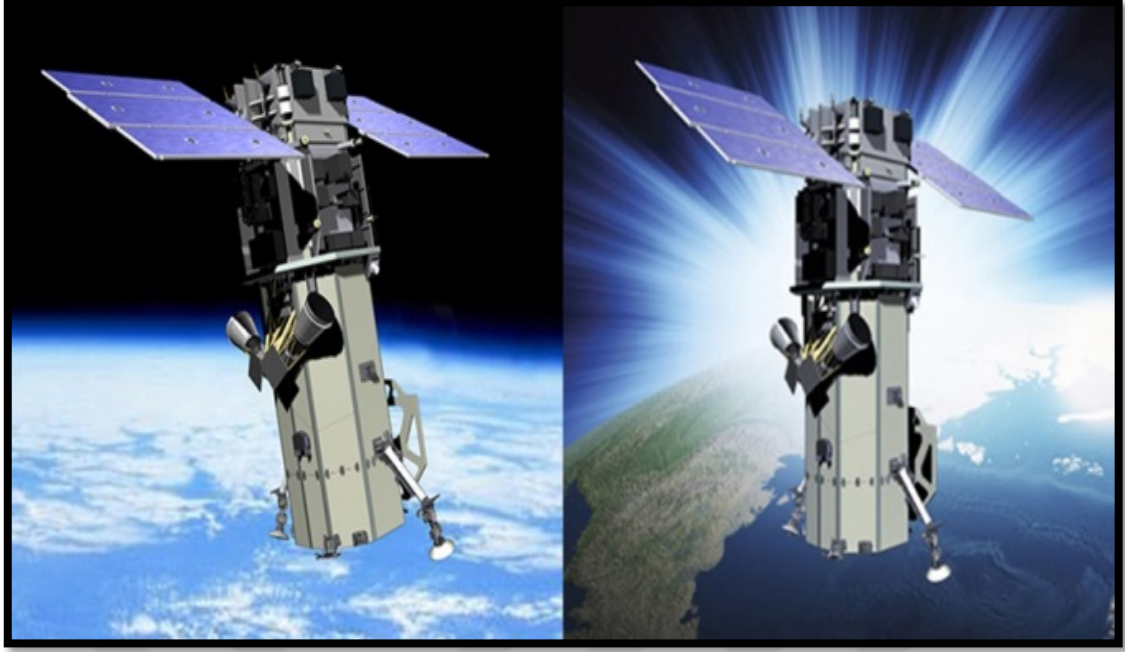
**Çizelge 3.1** Sentinel-2 Uydu Band Özellikleri (URL 14).

Band	Açıklama	Dalga Boyu ( $\mu\text{m}$ )	Çözünürlük (m)
1	Kıyı/Aerosol	0.433 – 0.453	60
2	Mavi (B)	0.458 – 0.523	10
3	Yeşil (G)	0.543 – 0.578	10
4	Kırmızı (R)	0.650 – 0.680	10
5	Kırmızı Kenar	0.698 – 0.713	20
6	Kırmızı Kenar	0.733 – 0.748	20
7	Kırmızı Kenar	0.773 – 0.793	20
8	Yakın Kıızılötesi (NIR)	0.785 – 0.900	10
8A	Narrow NIR (Daraltılmış Yakın Kıızıl Ötesi)	0.855 – 0.875	20
9	Su buharı (Water vapour)	0.855 – 0.875	60
10	SWIR – Cirrus (Kısa Dalga Kıızıl Ötesi)	1.365 – 1.385	60
11	SWIR-1 (Kısa Dalga Kıızıl Ötesi-1)	1.565 – 1.655	20
12	SWIR-2 (Kısa Dalga Kıızıl Ötesi-2)	2.100 – 2.280	20

### 3.4.2 WorldView-2 ve WorldView-3 Uydu Sistemi

WorldView-2 yüksek çözünürlüklü ticari bir uydudur (Şekil 3.4). WorldView-2 770 km yükseklikte olup 8 banda sahiptir (Çizelge 3.2). Ayrıca hem 0.46 m yersel çözünürlüklü pankromatik hem de 1.84 m yersel çözünürlükte multispektral olarak görüntü sağlayabilmektedir (URL 15).

WorldView-3 ise gözlem uydusudur (Şekil 3.4). 0.31 m pankromatik çözünürlüğünün yanı sıra sekiz bandlı multispektral görüntüleme yeteneğine sahiptir. Ayrıca SWIR kanalları yani kısa dalga kıızıl ötesi band mevcuttur (Çizelge 3.2). 12 adet CAVIS banda sahiptir ve bunlar; çöl bulutu, aerosol 1, 2, 3, yeşil, su 1, 2, 3, NDVI-SWIR, bulut ve kar şeklindedir (Güngör 2019).



Şekil 3.4 (a) WorldView-2 Uydusu (b) WorldView-3 Uydusu (URL 16-17).

Çizelge 3.2 WorldView-2 ve WorldView-3 Uydularının Band Özellikleri.

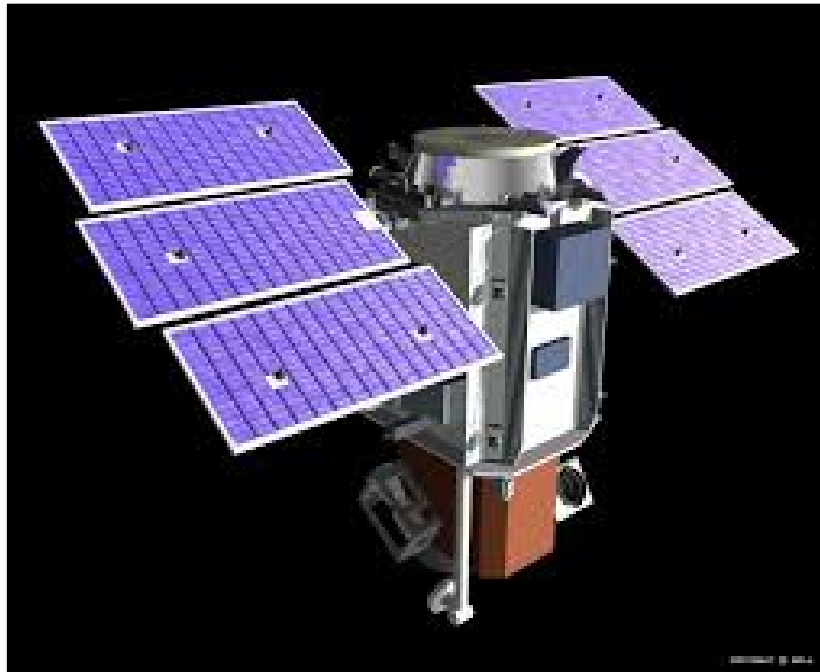
WorldView-2		WorldView-3	
Sensör Bandları	Dalga Boyu (nm)	Sensör Bandları	Dalga Boyu (nm)
Pankromatik	450 - 800	Pankromatik	450 - 800
Multispektral - Kıyı:	400 - 450	Multispektral - Kıyı:	400 - 450
Mavi	450 - 510	Mavi	450 - 510
Yeşil	510-580	Yeşil	510-580
Sarı	585-625	Sarı	585-625
Kırmızı	630-690	Kırmızı	630-690
Kırmızı kenar	705-745	Kırmızı kenar	705-745
Kızılötesine yakın 1	770-895	Kızılötesine yakın 1	770-895
Kızılötesine yakın 2	860-1040	Kızılötesine yakın 2	860-1040
		8 SWIR	1195 - 2365
		12 CAVIS Bandı: (çöl bulutları, aerosol-1, aerosol-2, aerosol- 3, yeşil, su-1, su- 2, su-3, NDVI-SWIR, sirrus, bulut)	405 - 2245

### 3.4.3 Quickbird-2 Uydu Sistemi

Quickbird 1 metrenin altında çözünürlüğe sahip ilk ticari uydudur (Şekil 3.5). Quickbird uydusundan; pankromatik, multispektral ve zenginleştirilmiş (pan-sharpened) görüntüler elde edilir. Uydunun multispektral algılayıcısı dört ayrı renkte görüntü almaktadır (Çizelge 3.3). Zenginleştirilmiş görüntüler RGB (red, green, blue; kırmızı, mavi, yeşil) veya renkli kızılötesi (NIR-R-G; near infrared-red-green; yakın kızılötesi-kırmızı-yeşil) şeklindedir (Akdeniz ve Aksu 2004).

**Çizelge 3.3** Quickbird Uydusu Band Özellikleri.

Sensör Bantları	Dalga Boyu (nm)	Mekansal Çözünürlük (m)
Pankromatik	450-900	2.5
Mavi	450-520	2.5
Yeşil	520-600	2.5
Kırmızı	630-690	2.5
Yakın Kızılötesi	760-890	0.61



**Şekil 3.5** QUICKBIRD Uydusu (URL 18).

### 3.4.4 Ikonos Uydu Sistemi

Yüksek çözünürlüğe sahip Ikonos uydusu çevresel çalışmalara hizmet eden bir uydudur. Mart 2015 yılında görev süresini tamamlamıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Ikonos Uydusu (URL 19).

Ikonos uydusu ile 3 farklı görüntü oluşturulabilir. (1m x 1m) pankromatik görüntü, (4m x 4m) renkli görüntü, 1m x 1m pansharpen görüntüdür. Pankromatik görüntü; siyah-beyaz görüntü alabilmek için elektromanyetik spektrumun sadece bir bandından yansıyan enerjiyi ölçebilen algılayıcılar tarafından, elde edilir. Renkli görüntü ise elektromanyetik spektrumdaki birden fazla bandı ölçen dijital sensörlerle elde edilirler. Pansharpen görüntüsü ise renkli görüntüde bulunan bandlardan birinin yerine pankromatik görüntünün konmasıyla oluşan birleştirilmiş bir görüntüdür. Bu işlem sonucu 1mx1m çözünürlüğe sahip renkli görüntü elde edilmiş olur (Vural 2008). Ikonos uydusuna ait Band özellikleri Çizelge 3.4'tedir.

Çizelge 3.4 Ikonos Uydusu Band Özellikleri (URL 20).

Sensör Bandları	Dalga Boyu (nm)	Mekansal Çözünürlük (m)
Pankromatik	450-900	1
Mavi	400-520	4
Yeşil	520-600	4
Kırmızı	630-690	4
Yakın Kızılötesi	760-900	4

### 3.4.5 Landsat-8 Uydu Sistemi

Landsat 8 gıda, su ve ormanlar gibi insan geçim kaynakları için gerekli kaynakların araştırılması çalışmalarında kullanılmak üzere fırlatılmıştır (Şekil 3.7). Bu uydu da 11 adet band bulunmaktadır. Landsat-8 uydusu OLI (Operational Land Imager) ve TIRS (Thermal Infrared Sensor) sensörleri barındırır. OLI dokuz adet bandı içerisinde barındırır. Mavi/ aerosol ve kısa dalga boyu bandlar sayesinde ince bulutları ve su kalitesinin ölçülmesine olanak verir. TIRS sensörü ise termal bir sensör olup su düzenlemelerinde evapotranspirasyon oran ölçümler gibi acil uygulamaları üzerine çalışma imkânı sağlar (URL 21).



Şekil 3.7 Lansad-8 Uydusu.

Lansad -8'e ait band özellikleri Çizelge 3.5'te mevcuttur.

Çizelge 3.5 Lansad-8 Uydusu Band Özellikleri (Güngör 2019).

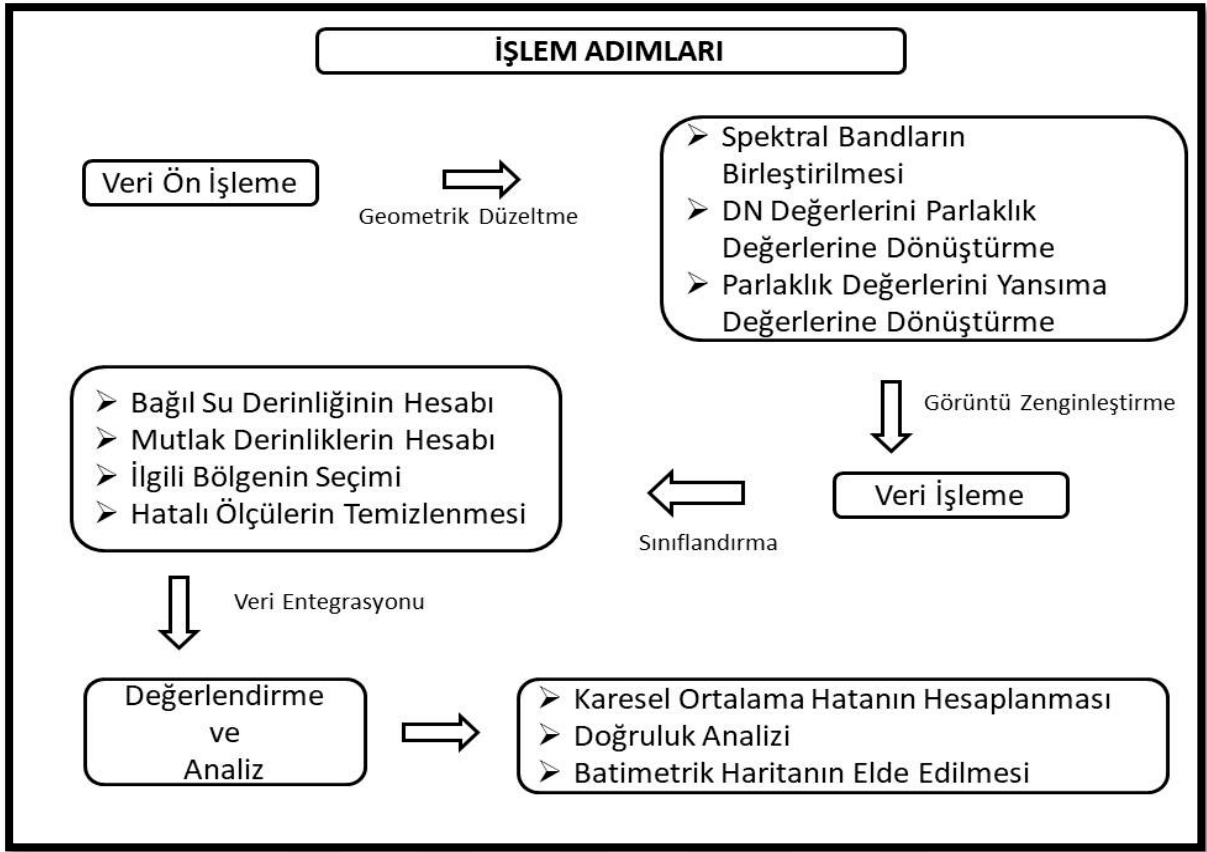
Band No	Dalga boyu	Konumsal Çözünürlük	Uygulamalar
TM 1	0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$ (mavi)	30 m	Toprak/Bitki Ayrıştırılması, Batimetrik ve Kıyı Çalışmaları, Yerleşim Alanı Çıkarımı
TM2	0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$ (yeşil)	30 m	Yeşil Bitki Ayrımı, Yerleşim Alanı Çıkarımı
TM3	0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$ (kırmızı)	30 m	Bitki Türleri Ayrımı, Yerleşim Alanı Belirlenmesi

**Çizelge 3.5** (devam ediyor)

<b>Band No</b>	<b>Dalga boyu</b>	<b>Konumsal Çözünürlük</b>	<b>Uygulamalar</b>
TM4	0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$ (yakın kızılötesi)	30 m	Farklı Bitki Örtülerinin Ayrıştırılması, Biokütle Muhteviyatı Belirleme, Su Alanları Belirlenmesi, Toprak Nemi Çıkarımı
TM5	1.55 - 1.75 $\mu\text{m}$ (kısa dalga kızılötesi)(SWIR)	30 m	Suda ve Bitkideki Neme araştırmaları, Karla kaplı ve Bulutlu Bölgelerin Analizleri
TM6	10.4 - 12.5 $\mu\text{m}$ (termal kızılötesi)	120 m	Isıl Radyasyona Bağlı Olarak Bitki ve Toprak Neminin Araştırılması, Isıl Bölgelerin Modellenmesi
TM7	2.08 - 2.35 $\mu\text{m}$ (kısa dalga kızılötesi)(SWIR)	30 m	Madencilik ve Jeolojik Araştırmalar, Bitki Nemi Çıkarımları
TM8	0.50 - 0.90 $\mu\text{m}$	15 m	Landsat 7 pankromatik Özellikleri

### **3.5 UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK BAĞIL VE MUTLAK DERİNLİKLERİNİN ÇIKARIMI**

Uydu görüntüsünden batimetrik harita üretilmesi için yapılacak İşlem adımları şekil 3.8 gibi gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Görüntü İşleme Adımları.

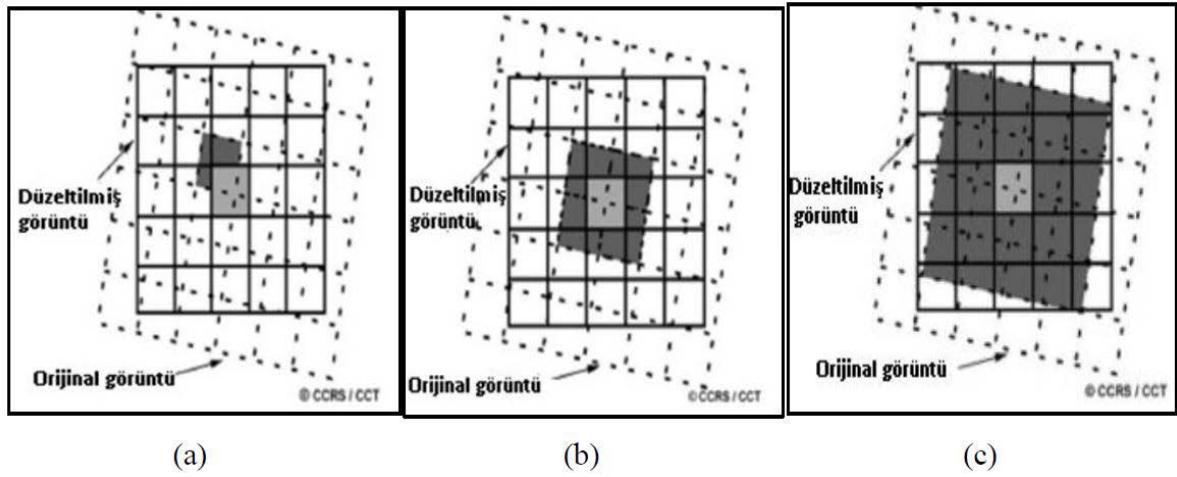
### 3.5.1 Veri Ön İşleme

Ham uydu verilerinin altlık olarak kullanılabilmesi için bazı işlemlerden geçmesi gerekir. Bu görüntülerde algılayıcıdan, güneş ışınlarının geliş açısından, topoğrafyadan ve atmosferik şartlardan (sis, bulut vb.) kaynaklanan hatalar görüntüde yansımalar oluşturarak görüntü bozulmalara sebep olur. Bu nedenle uydu görüntüleri kullanılmadan önce bir veri ön işleme aşamasına tabi tutulurlar (Green vd. 2000).

Orijinal görüntüler üzerinde filtreleme, kontrast zenginleştirme ve gürültü giderilmesi gibi işlemler yapılır. Buna radyometrik düzeltme denir. Daha sonra görüntüde düşeye çevirme işlemi uygulanır yani geometrik düzeltmeleri (rektifikasyon) yapılır. Bu yapılan düzeltme işlemleri ve görüntü zenginleştirme ile birlikte sınıflandırma ve veri entegrasyonu işlemler sırasıyla gerçekleştirilir (Kaçmaz 2005).

### 3.5.1.1 Geometrik Düzeltme

Ham uydu görüntülerin üzerinde barındırdıkları hataları girebilmek için geometrik olarak düzeltilmesi yapılmalı yani koordinatların, referans koordinat sistemine çevrilmesi gerekir. Bu durumda referans koordinat sistemine çevrilen görüntülerdeki gri değerleri tekrar hesaplanmalıdır. Bunun için yapılan işleme de yer örnekleme denir. Yer örnekleme yöntemi 3 çeşittir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 a) En yakın komşuluk yöntemi, b) Bilineer enterpolasyon, c) Kübik katlama (Baboo ve Devi 2010).

- **En Yakın Komşu Yöntemi (Nearest):** Basit bir yöntemdir ve orijinal değerler değişmez. Hesaplaması basit ve hızlıdır. Bu yöntemde, orijinal görüntüde yeni piksel konumuna en yakın dijital piksel değerlerinden faydalanılarak düzeltilmiş piksel değerleri hesaplanır. Fakat bazı pikseller kaybolurken bazılarının çifti oluşabilir (Altuntaş ve Çorumluoğlu 2002).
- **Bilineer Enterpolasyon Yöntemi:** Geometrik olarak doğruluğu daha yüksek bir yöntemdir. Daha düz görüntü elde etmemizi sağlar. Görüntüde pikselin parlaklık değeri olarak orijinal görüntü üzerindeki en yakın dört pikselin ağırlıklı ortalaması alınır. Orijinal piksel değerlerinde değişim olmaktadır. Fakat spektral sınıflandırma gibi daha ileri işlem ve analizler istenmiyorsa bu işlem kullanılabilir (Kaçmaz 2005).
- **Kübik Katlama Yöntemi:** Bu yöntem bir görüntüdeki gri değerleri hesaplamak için kullanılır. Giriş koordinatlarına en yakın 16 pikselin ağırlıklı ortalaması alınarak yeni piksel değerleri hesaplanır. Kübik katlama yöntemi çok işlem gerektirdiğinden çok fazla zaman almaktadır.

### 3.5.1.2 Dijital Numara Değerlerini Parlaklık Değerlerine Dönüştürme

Dijital numaraları parlaklık değerlerine dönüştürme yöntemidir. Bu işlem 3.1 denklem yardımıyla yapılmaktadır.

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (3.1)$$

$L_{\lambda}$ = Görüntünün parlaklık değeri,

$Q_{cal}$ = Görüntünün dijital numara değeri,

$M_L$ = Bandların özel çarpımsal değeri,

$A_L$ = Bandlara ilave edilen özel değeridir.

### 3.5.1.3 Görüntü İyileştirme

Görüntünün parlaklık değerlerini yansıma değerlerine dönüştürmek için yapılan işlemdir. İşlem 3.2 denklemi ile bulunur.

$$\rho = \frac{\pi(L_{\lambda} - L_p) * d^2}{ESUN_{\lambda} * \cos Q_s} \quad (3.2)$$

$L_{\lambda}$  = Görüntünün parlaklık değeri,

$L_p$  = Görüntünün parlaklık değeri,

$d$  = Dünya ile Güneş arasındaki atmosferik birim cinsinden uzaklığı,

$ESUN_{\lambda}$  = Ortalama Güneş eko-atmosferik parlaklık,

$Q_s$  = Derece cinsinden Güneş'in zenit açısı'dır.

(3.2) denkleminin sonucunu bulabilmek için önce 3.3'teki bağıntı ile  $ESUN_{\lambda}$  ve 3.4 bağıntısı ile de  $L_p$  değerlerini bulmak gerekir.

$$ESUN_{\lambda} = \frac{(\pi * d^2) * RADIANCE\_MAX}{REFLECTANCE\_MAX} \quad (3.3)$$

$d$  = Dünya ile Güneş arasındaki atmosferik birim cinsinden uzaklığı,

Radiance-Max = Görüntünün en yüksek parlaklık değeri,

Reflectance\_Max= Görüntünün en yüksek yansımaya değeridir.

$L_p$  değeri de (3.4) eşitliğinden elde edilir.

$$L_p = \frac{(M_L - DN_{min}) + A_L - (0.01 * ESUN_{\lambda} * \cos Q_s)}{\pi * d^2} \quad (3.4)$$

$DN_{min}$  = Uydu görüntüsünün tüm bandlarının minimum piksel değerleri

Ön işleme adımları sonrasında atmosferik düzeltilmiş olur ve görüntülerdeki piksel yansımaya değerleri 0 ile 1 arasında değer alır.

### 3.5.2 Veri İşleme

Bağıl ve mutlak su derinliklerini bulabilmek için ön işlemesi tamamlanmış uydu görüntülerinden su alanlarının pikselleri üzerindeki yansımaya değerleri ve oranları kullanılır. Su kütlelerinin çıkarılması için 3 tane yöntem kullanılır. Bu yöntemler suyun spektral yansıtma özelliğini ve farklı spektral bantlardaki diğer özellikleri kullanabilir. Her yöntem kendi içinde avantajlar ve dezavantajları vardır.

Su Oranı İndeksi (WRI): Suyun yeşil ve kırmızı baskın spektral yansımalarından dolayı yakın kızılötesi ve orta kızılötesi bantlarla karşılaştırıldığında WRI 1'den büyük değer gösterir (Gautam, Gaurav, Murugan ve Annadurai 2015).

Normalleştirilmiş Su İndeksi (NDWI): Suyu ve bitki örtüsünde ayırt etmek için çok güçlü bir özelliğine sahiptir.

NDWI indeksi, su yüzeylerinin toprak ve bitki örtüsünden ayırmak amacıyla yeşil dalga boyu ve yakın kızılötesi dalga boyunun farkı ile toplamına oranlanması esaslı ile oluşturulur, formül 3.5'te gösterilmiştir (Güngör 2019).

$$NDWI = \frac{\text{Yeşil Band}(G) - \text{Yakın Kızılötesi Band}(NIR)}{\text{Yeşil Band}(G) + \text{Yakın Kızılötesi Band}(NIR)} \quad (3.5)$$

Bu oranlama ile yapılan bant karşılaştırılması sonucu NDWI -1 ile +1 arasında bir değer alır. Bulunan pozitifler değer su ve sulak alanları, negatifler değer de diğer alanları ifade eder. (Güngör 2019).

Modifiye Edilmiş Normalleştirilmiş Su Fark İndeksi (MNDWI): NDWI 'ın toprak üzerindeki kısıtlamaları yüzünden su ve kentsel alanların ayırt edilebilmesi için en etkili yöntemdir.

MNDWI, su ayrımı için yeşil dalga boyu ve orta kızıl ötesi dalga boyu farkı ile toplamının oranlanması esasına dayanan oranlama hesabı ile gerçekleştirilir (Xu 2006). Bağıntı 3.6 yardımı ile bulunur.

$$MNDWI = \frac{\text{Yeşil Band}(G) - \text{Orta Kızılötesi Band}(MIR)}{\text{Yeşil Band}(G) + \text{Orta Kızılötesi Band}(MIR)} \quad (3.6)$$

### 3.5.2.1 Bağlı Su Derinliği

Bağlı su derinliğini bulabilmek için iki tane algoritma kullanılmaktadır.

#### ➤ Logaritmik Doğrusal Dönüşüm (LLT) Yöntemi

Uzaktan algılama yöntemi ile sığ sularda su derinliğinin tahmin edilebileceği ilk olarak Lyzenga tarafından (1978, 1981) tarafından geliştirilmiş ve Philpot (1989) ve Maritorea ve ark. (1994), su derinliğinin belirlenmesi için pasif uzaktan algılama yönteminin geçerliliğini ve ilgili problemleri ortaya koymuşlardır. (Georgiou vd. 2009).

Suyun yansımaya özelliği kullanılarak, suyun yansımaya durumun sabit olduğu durumlarda, yansıtılan parlaklık ve su derinliği arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Bu yöntemde uydu görüntüsündeki tek bir bandın su özelliklerinin homojen dağıldığı denklem 3.7, aynı zamanda zayıflama katsayısının sabit kaldığı ve ışığın su kolonundaki derinliğinin üstel olarak azaldığı çıkarımından yola çıkılmıştır (Güngör 2019).

$$R_{\omega} = (A_d - R_{\infty})e^{-gz} + R_{\infty} \quad (3.7)$$

Denklemdede;

$R_w$  =suyun yansımaları,

$R_\infty$ = derin su kolonunun yansımaları,

$A_d$ = taban yansıtma gücü,

$z$  = derinlik

$g$ = hem düşük hem de dik ışık için zayıflama katsayılarının bir fonksiyonudur.

3.7'deki denklem düzenlenecek olursa tek bir spektral band için batimetri model elde edilir.

Denklem 3.8.

$$z = g^{-1}[\ln(A_d - R_d) - \ln(R_w - R_\infty)] \quad (3.8)$$

Lyzena daha sonra su yansımaları durumlarının sabit olmadığı durumlarda bağıl su derinliğini bulabilmek için spektral bandlar arasında kombinasyonlar yaparak her bir piksel için su derinliğini bulmaya çalışmıştır. Denklem 3.9.

$$z = a_0 + a_i x_i + a_j x_j \quad (3.9)$$

Denklemdede;

$a_0$ ,  $a_i$  ve  $a_j$  = sabit katsayılarıdır ve çoklu doğrusal regresyonlardan belirlenir.

$X$ = belirli bir bandtaki (i, j) dönüştürülmüş parlaklıktır.

Verilen bir alan içindeki taban tiplerinin sabit olduğu varsayılırsa iki spektral band arasındaki yansımaları oranı kullanılarak denklem 3.10 denklemi ile iki veya daha fazla band için bir batimetrik model elde edilebilir. (Güngör 2019).

$$z = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \ln[R_w(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i)] \quad (3.10)$$

Denklemdede;

$a_i$  ( $i = 0, 1, \dots, N$ )= sabit katsayıları,

$\lambda_i$ = spektral band,

$N$  = spektral bandların sayısı,

$R_w(\lambda_i)$  =  $\lambda_i$  spektral bandı için atmosferik ve güneş yansımaları düzeltmelerinden sonra uzaktan algılama parlaklığı,

$R_\infty(\lambda_i)$  =  $\lambda_i$  spektral bandı için derin su parlaklığı.

### ➤ Logaritmik Oransal Dönüşüm (LRT)

LRT algoritması, Stumpf tarafından geliştirilen ve her bandın farklı bir su kütlesi emilimine sahip olma prensibine dayanan bir yöntemdir. Bu yöntem düşük yansımaya özelliğine sahip sığ suların derinlik hesabı için geliştirilmiştir.

Her banda ait farklı emilim seviyesi bandlar arasında bir oran oluşturacaktır ve bu oran aynı anda derinlik hakkında bilgi verecektir. Yani banddaki emme seviyesi arttıkça su derinliği de artacaktır denklemin 3.11.

$$z = m_1 \ln(nL(\lambda_{MAVİ})) \ln(nL(\lambda_{YEŞİL})) - m_0 \quad (3.11)$$

Burada;  $n$ ,  $m_1$ ,  $m_0$  = model için sabit katsayılar

$L(\lambda_{MAVİ})$  = Mavi bandların parlaklık değerleri.

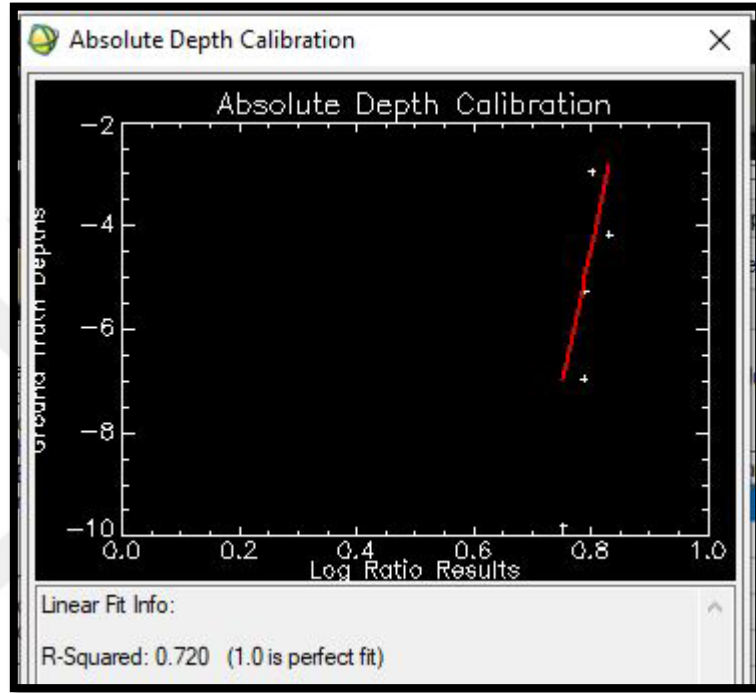
$L(\lambda_{YEŞİL})$  = Yeşil bandların parlaklık değerleri.

LLT ve LRT algoritmaları karşılaştırıldığında LRT yönteminin LLT yönteminin 10-15 m daha az su derinliklerinde tutarlı sonuçlar verdiği ve LRT yönteminin 25 m'den daha derin sularda daha fazla doğruluk elde edildiği görülmüştür. Ayrıca LRT yönteminin daha kolay uygulanabilir ve daha doğrulukla sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Stumpf vd. 2003).

### 3.5.2.2 Mutlak Su Derinliği

Uydu görüntüleri üzerinden çeşitli algoritmalarla bulunan bağıl su derinliği elde edildikten sonra her bir piksel 0 ile 1 arasında değer alırlar. Bu görüntü üzerinden bir regrasyon modeli oluşturmak ve mutlak Su derinliğine ulaşmak için çalışma bölgesinin alanının büyüklüğü de göz önüne alınarak homojen olarak dağıtılmış en az 3 tane yer kontrol noktasına ihtiyaç duyulur.

Regresyon modelini oluşturmak için alınan yer kontrol noktaları piksellerde logaritmik oran olarak geniş bir aralığı temsil eder. Bu nedenle mutlak derinlik görüntüde su derinleştikçe dar bir oran değerinde sıkışırlar. Örneğin oran değeri 1 olan bir piksel -20m ila -1000m arasında mutlak bir derinliğe sahip olabilir. O nedenle noktaların tümüne uyacak bir modelden ziyade sıkı derinliğe sahip noktalara uyacak bir model seçilmesi daha doğru olacaktır (Şekil 3.10). Çünkü derin piksellerde hata yapma ihtimali yüksektir (Güngör 2019).



Şekil 3.10 Regresyon Eğrisi.

## **BÖLÜM 4**

### **UYGULAMA**

Bu bölümde; çalışma alanının özellikleri, çalışma için kullanılan yöntemler ve materyaller hakkında bilgiler verilmiştir.

Çalışma alanında bölgeye ait güncel Landsat-8 uydu görüntüleri üzerinden LRT yöntemi kullanılarak batimetrik harita üretilmiştir. Aynı bölgede tasarlanan insansız su aracı ve bu araca monte edilen akustik iskandil cihazı kullanılarak ikinci batimetrik harita üretilmiştir. Bu iki verinin analizi ve doğrulama işlemleri için ipli iskandil ile belirli bölgelerde derinlik bilgisi kaydedilmiştir.

Oluşturulan batimetrik haritalar karşılaştırılarak uzaktan algılama yöntemi ile batimetrik harita üretimi arasındaki sonuçlar tartışılmıştır.

#### **4.1 ÇALIŞMA BÖLGESİ**

Bu çalışmada Zonguldak ili Çaycuma ilçesine bağlı Filyos beldesi limanı örnek bölge olarak seçilmiştir. (Şekil 4.1).

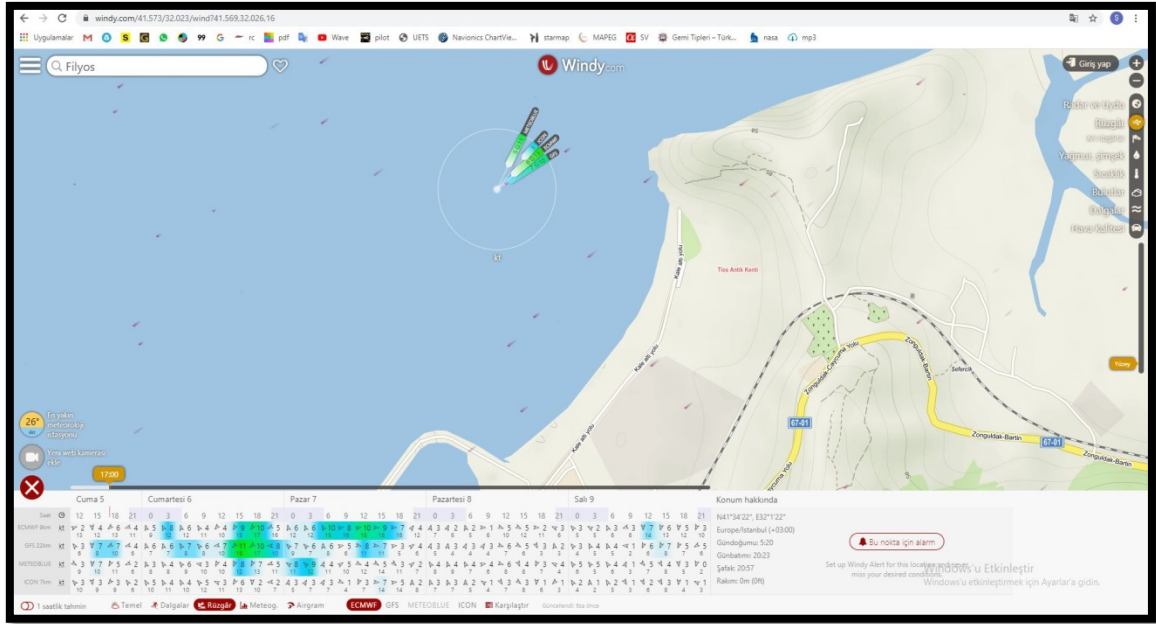
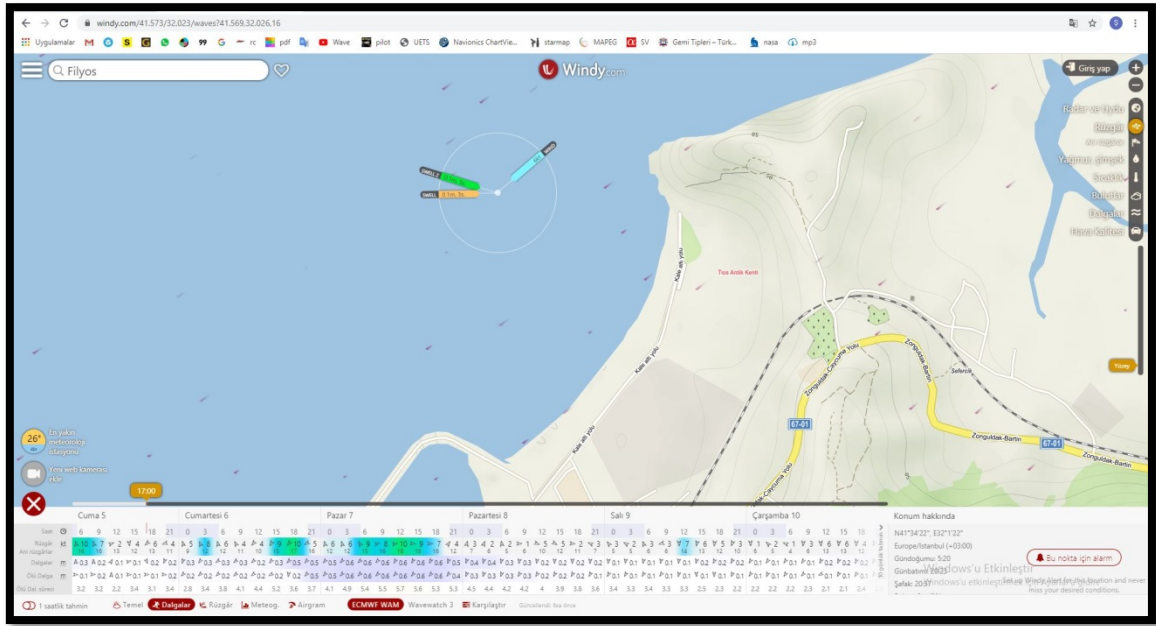
Bölgeye ait güncel Landsat-8 uydu görüntüleri üzerinden LRT yöntemi kullanılarak üretilen batimetrik harita, bölgede akustik iskandil yöntemi ile oluşturulan batimetrik harita ile karşılaştırılarak uzaktan algılama tekniğinin batimetrik çalışmalarda kullanılabilirliği analiz edilecektir.



Şekil 4.1 Filyos Limanı.

#### 4.2 İNSANSIZ SU ÜSTÜ ARACI KULLANILARAK BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ

Bölgeye ait batimetrik haritanın üretilmesi için aşağıda teknik özellikleri ve resimleri verilen uzaktan kumandalı insansız su üstü aracı kullanılmıştır. Özellikle tek Işınlı akustik iskandil yöntemi kullanılan çalışmalarda teknenin sallanmaması için ölçüm günü önceden etüt edilir. Bu çalışmada da hava koşulları rüzgâr ve dalga bakımından etüt edilerek rüzgârsız bir günde ölçüm yapılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Batimetrik Ölçüm Yapılan Güne ait Rüzgar ve Dalgı Tahmin Haritası (URL 20).

Batimetrik ölçümlerde kullanılan insansız su üstü aracı üstüne GNSS alıcısı yerleştirilmiş ve Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı –Aktif (TUSAGA-Aktif) Sistemine bağlanılarak teknenin yatay konumu 1-3 cm doğrulukla belirlenmiştir (Şekil 4.3).

Ölçmelerde kullanılan insansız su üstü aracı hem kumanda hem de otonom olacak şekilde tasarlanmıştır. Sistem açık denizde de kullanılacak şekilde ayarlanmış olup, teknenin karinası dalgalara karşı bat-çık ve yunuslama hareketinden en az etkilenecek şekilde modellenmiştir.



**Şekil 4.3** İnsansız Su Üstü Aracı.

Uygulamada kullanılan teknenin teknik özellikleri aşağıdaki Çizelge 4.1’de özetlenmiştir.

**Çizelge 4.1** İnsansız Su Üstü Aracı Teknik Özellikleri.

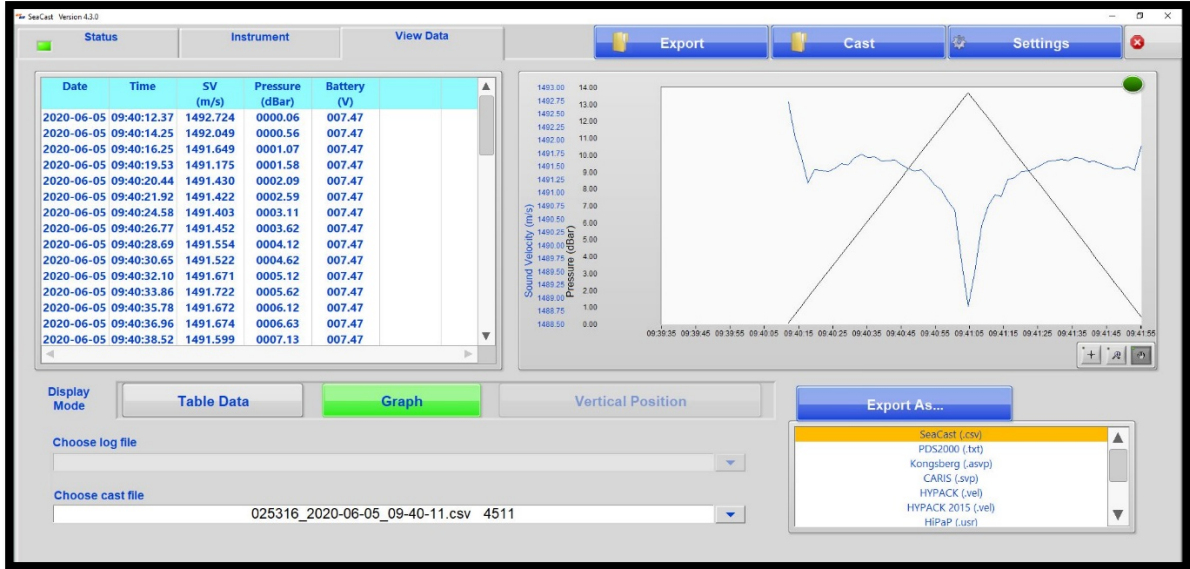
<b>Ölçüler (En Boy Yükseklik cm)</b>	50x110x65
<b>Motor</b>	50a 500 kv Fırçasız Motor
<b>Yönlendirme</b>	Servo Motorlu Dümen
<b>İletişim</b>	12 Kanal 2.4 Ghz Kumanda ve Alıcı
<b>Ağırlık</b>	20 kg
<b>Batarya</b>	4cell 14v 45a 9000x2 Lipo

Teknenin altına tek ışınlı echosounder cihazı yerleştirilmiş ve bu donanımın teknik özellikleri aşağıdaki Çizelge 4.2’de özetlenmiştir.

**Çizelge 4.2** Echosounder Teknik Özellikleri.

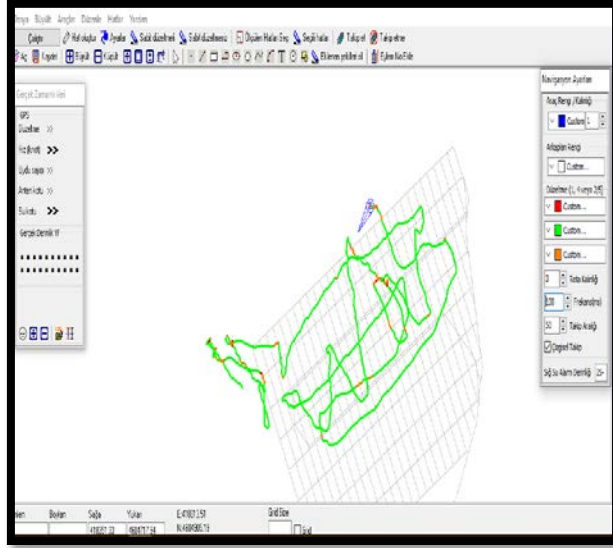
<b>Transduser Çalışma Frekansı</b>	235 Khz
<b>Doğruluk</b>	± 0.025 m
<b>Etkin Derinlik</b>	0.30 m – 70 m
<b>Ses Hızı Aralığı</b>	1400-1600 m/sn

Batimetri çalışmasına başlanmadan önce bölüm 2.4.1’de bahsedildiği gibi sudaki ses hızı belirlenmiştir. Bu amaçla bölgede ölçümlere başlanmadan önce farklı derinliklerde ses hızı ölçümü gerçekleştirilmiş ve ortalama ses hızı 1491.33 m/s alınmıştır (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5).



Şekil 4.4 Ses Hızı Ölçüm Ekranı.

Ölçümler başlamadan önce eşel değeri belirlenmiştir. Bu amaçla yeni Filyos Limanı inşaatı için kullanılan eşel sistemi tercih edilmiş ve eşel değer + 55 cm olarak ölçülmüştür. Bulunan eşel değeri tüm ölçme verilerinden düşülmüştür.



**Şekil 4.5** İnsansız Su Üstü Aracı ile Batimetrik Ölçümü ve Ölçüm Hatları Görüntüsü.

Filyos Liman bölgesinde yer yer kaya dolgu alanlar bulunmaktadır. Uydu görüntüleri değerlendirilirken aynı piksele hem liman dolgu kayaları hem de dip topografyası denk gelebilmektedir. Bu durum verilerin karşılaştırılması aşamasında yanlış yorumlamalara sebebiyet verebilir. Bu sebepten dolayı çalışma alanı iki bölgeye ayrılarak analizler yapılmıştır. Aşağıda bu bölgeler işaretlenmiştir. İlk bölge (a) engebeli dip topografya kısmını, ikinci bölge (b) normal dip topografyasını temsil etmektedir (Şekil 4.6).



a: Engelibeli Dip Topografyasına Sahip Bölge, b: Düz Dip Topografyasına sahip Bölge

Şekil 4.6 Çalışma Bölgesinde Üretilen Bütünleşik Batimetrik Veriler.

### 4.3 UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ

Bu bölümde detayları bölüm 3.5’te verilen uydu görüntüleri ile batimetrik harita üretim aşamaları kullanılarak örnek bölgedeki batimetrik harita üretimi anlatılacaktır.

#### 4.3.1 Uydu Görüntü Seçimi

Yapılan uygulama Lansat-8 uydusuna ait 13 Mart tarihine ait görüntü kullanılmıştır. Görüntü açık kaynaklı ve ücretsiz olması sebebi ile Amerika Birleşik Devlet Jeoloji Araştırmaları (USGS) sitesinden indirilmiştir. Görüntü seçimi yapılırken bulutluluk oranının azlığına ve saha ölçümlerinin yapıldığı tarihe yakın zamanlar olmasına dikkat edilmiştir. Konumsal doğruluk olarak 30 m çözünürlüğe sahip Lansat-8 uydusunun 11 bandından 433 nm ile 2300 nm spektral aralığındaki ilk yedi spektral bandı kullanılmıştır.

#### 4.3.2 Yazılım Seçimi

Uydu görüntüsünü işlemek, derinlik hesaplarının çıkarımlarını yapmak için uzaktan algılama ve görüntü işleme programı olan ENVI Classic 5.3 programında kullanılmıştır. Çalışma

bölgesinde Akustik iskandil yöntemi ile elde edilen referans derinlik ölçümleri ile hesaplanan mutlak derinliklerin karşılaştırılması için Microsoft Excell kullanılmıştır. Haritalama işlemleri için Netcad 8.0 programı ve sayısal arazi model kullanılarak analizinin oluşturulması ile elde edilen derinlikleri görsele dökmek için de Surfer15 programı kullanılmıştır.

## 4.4 YÖNTEM

Çalışma dört aşamada gerçekleşmiştir.

- İlk adım olarak Lansat-8'e ait 13 Mart 2020 tarihine ait uydu görüntüsünün çalışmanın amacına yönelik olarak ENVI Classic 5.3 yazılımı ile ilk 7 bandı birleştirilmiş ve görüntünün radyometrik düzeltilmesi yapılmıştır.
- İkinci adım olarak yine ENVI Classic 5.3 yazılımda Spear Tools modülü içerisinde bulunan Relative Water Depth alt programı içerisinde 2-3 ve 4-5 band kombinasyonları ile üzerinden yersel olarak ölçülen referans noktası kullanılarak bağıl ve mutlak derinlikler elde edilmiştir. Böylece modeldeki referans derinliklerin Bağıl ve mutlak derinlikle alakalı kolerasyonu hesaplanmıştır.
- Üçüncü adım, mutlak derinlik ile referans derinlik verileri modeldeki referans modeldeki derinliklerle karşılaştırılmış ve karesel ortalama hataları hesaplanmıştır.
- Dördüncü işlemimizde ise, görselleştirme ve analiz işlemleri yapılarak bölgenin batimetrik haritası oluşturulmuştur.

### 4.4.1 Veri Ön İşleme

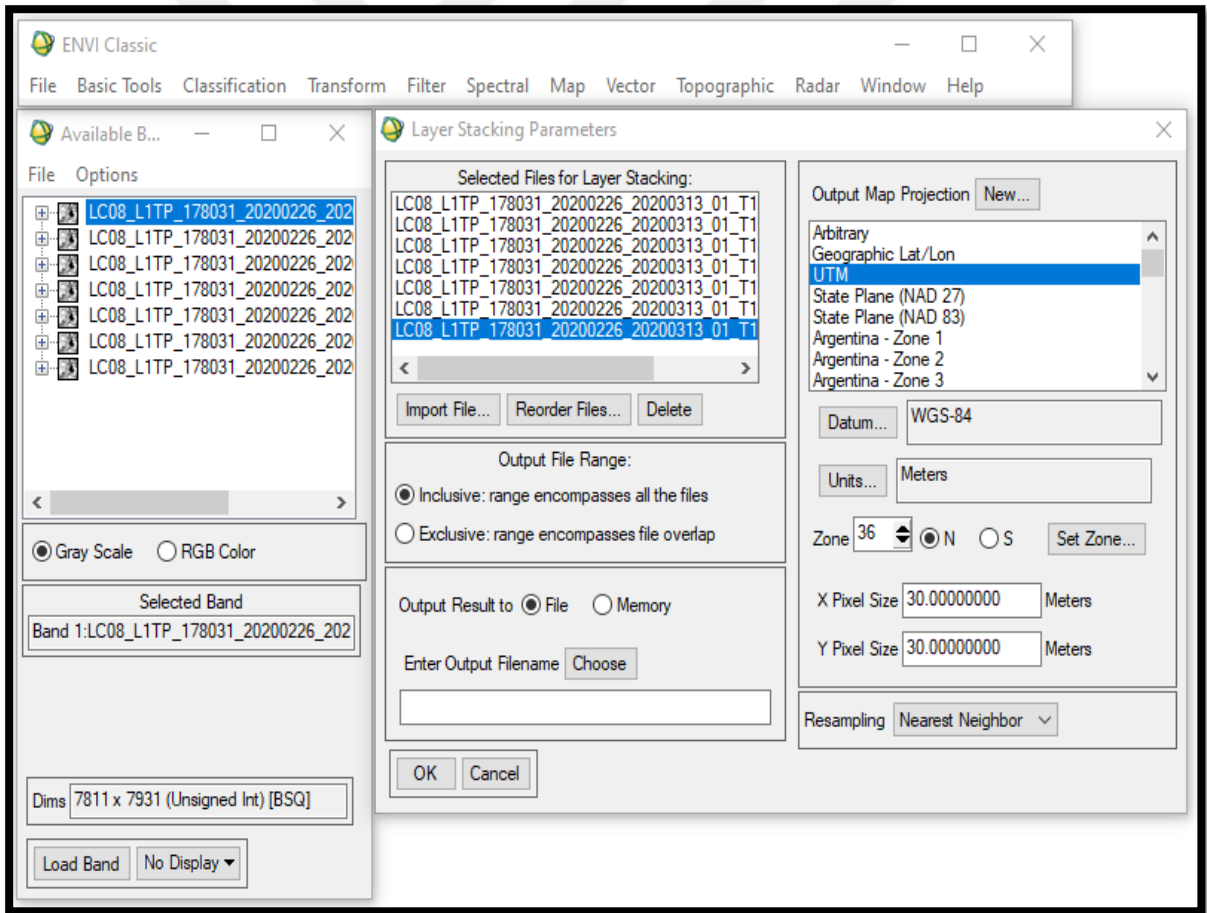
#### 4.4.1.1 Uydu görüntüsündeki Spektral Bantların Birleştirilmesi

13 Mart 2020 tarihine ait görüntü içerinden Çizelge 4.3'te yer alan 7 tane multispektral band görüntüleri birleştirilmiştir. (Şekil 4.7).

**Çizelge 4.3** Lansad-8 Uydu Görüntüsünde Kullanılan Band Özellikleri.

SPEKTRAL ARALIK	DALGABOYU ( $\mu\text{m}$ )	KONUMSAL ÇÖZÜNÜRLÜK
Band-1-Kıyı/Aerosol	0.433 - 0.453	30 m
Band-2-Mavi	0.450 - 0.515	30 m
Band-3-Yeşil	0.525 - 0.600	30 m
Band-4-Kırmızı	0.630 – 0.680	30 m
Band-5-Yakın Kızılötesi	0.845 – 0.885	30 m
Band-6-Kısa Dalga Kızılötesi	1.560 – 1.660	30 m
Band-7- Kısa Dalga Kızılötesi	2.100 – 2.300	30 m

Bandların birleştirme işlemleri için de örnekleme yöntemlerinden en yakın komşuluk yöntemi kullanılmıştır.



**Şekil 4.7** Görüntü Bandlarının ENVI 5.3'te Birleştirilmesi.

### 4.3.1.2 Radyometrik Düzeltme

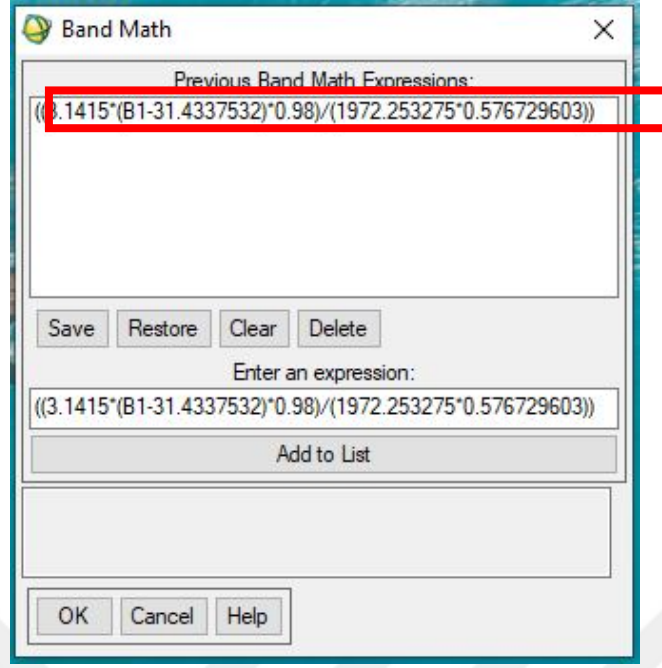
Lansat-8 uydu görüntüsünün radyometrik düzeltmeler ENVI Classic 5.3 yazılımında Dijital numara değerlerinin kullanılabilmesi için gerekli radyometrik düzeltmeler Kılıç (2019)'a göre hesaplanmıştır. İşlemler 2 adımda gerçekleştirilmiştir.

- Dijital Numaraları Parlaklık Değerlerine Dönüştürme: Lansat-8 uydusuna ait görüntüsünün yedi bandı ile oluşturulan birleştirilmiş verilerin parlaklık değerlerinin hesaplanabilmesi için denklem (3.2) yararlanılmıştır.  
Parlaklık değeri yani  $L\lambda$  değeri hesaplayabilmek için ENVI Classic programında Band Math modülü kullanılarak 3.2 denklemi kullanılarak her band için dijital numara değerleri parlaklık değerlerine dönüştürülmüştür ve bütün badlar birleştirilir.
- Parlaklık Değerlerinin Yansıma Değerlerine Dönüştürme: ENVI Classic yazılımı Band Math modülü kullanılarak parlaklık değerleri bulunan birleştirilmiş görüntü metaveri dosyasından elde edilen Radiance\_max ve Reflectance\_max verileri Ortalama Güneş eko-atmosferik parlaklık değeri ( $ESUN\lambda$ ) (3.3) denklemi ile değeri bulunup (3.4) denklemi ile  $L_p$  değerine değerlerine elde edilmiştir ve  $L_p$  değeri üzerinden de yansıma değerleri  $\rho$  (3.5) denklemi ile elde edilmiştir.

Yukarıda belirtilen radyometrik düzeltmelerin formüle edilmiş verileri excell Çizelgesi (Çizelge 4.4) üzerinden yapılarak elde edilen değerler üzerinden ENVI Classic 5.3 yazılımı Band Math modülü ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.8).

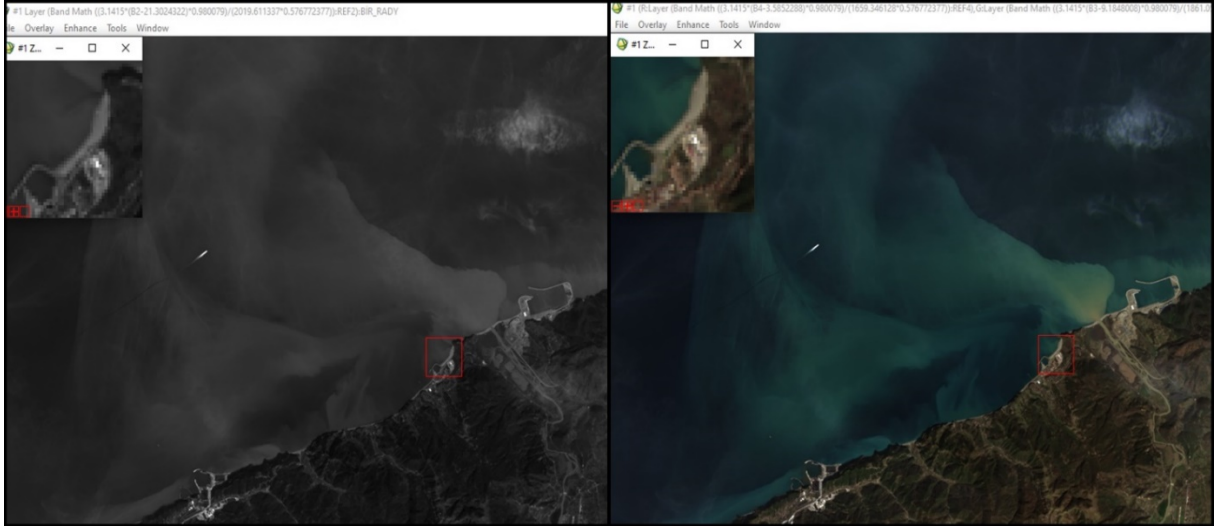
**Çizelge 4.4** Radyometrik Düzeltmeler Yapılabilmesi için Kullanılan Değerler.

$\lambda_{ort}$	ML	AL	DNmin	Rad_max	Ref_max	$L\lambda$	ESUN	$L_p$
0.443	0.012239	-61.19677	8224	740.90936	1.2107	39.45677	1972.2536	34.32906
0.4826	0.012533	-62.66624	7453	758.7002	1.2107	30.74221	2019.6117	25.491376
0.5613	0.011549	-57.74641	6425	699.13574	1.2107	16.45592	1861.0549	11.617317
0.6546	0.009739	-48.69502	5654	589.55066	1.2107	6.369286	1569.3464	2.2891077
0.8646	0.0059598	-29.79893	5140	360.7756	1.2107	0.834442	960.36171	-1.662424
1.609	0.0014821	-7.41072	4883	89.72161	1.2107	-0.17363	238.83322	-0.794573
2.201	0.00049956	-2.49781	4883	30.24099	1.2107	-0.05846	80.499593	-0.267751
$\pi$	=	3.141592654						
d	=	1.0128431						
$\theta_e$	=	56.91950433						
$\theta_s$	=	33.08049567						
$\cos(\theta_s)$	=	0.837904569						



Şekil 4.8 ENVI Classic 5.3 Yazılımı Band Math Modülü.

Radyometrik Düzeltmesi yapılmış görüntünün Gri ve RGB görünümü Şekil 4.9'da görülmektedir.

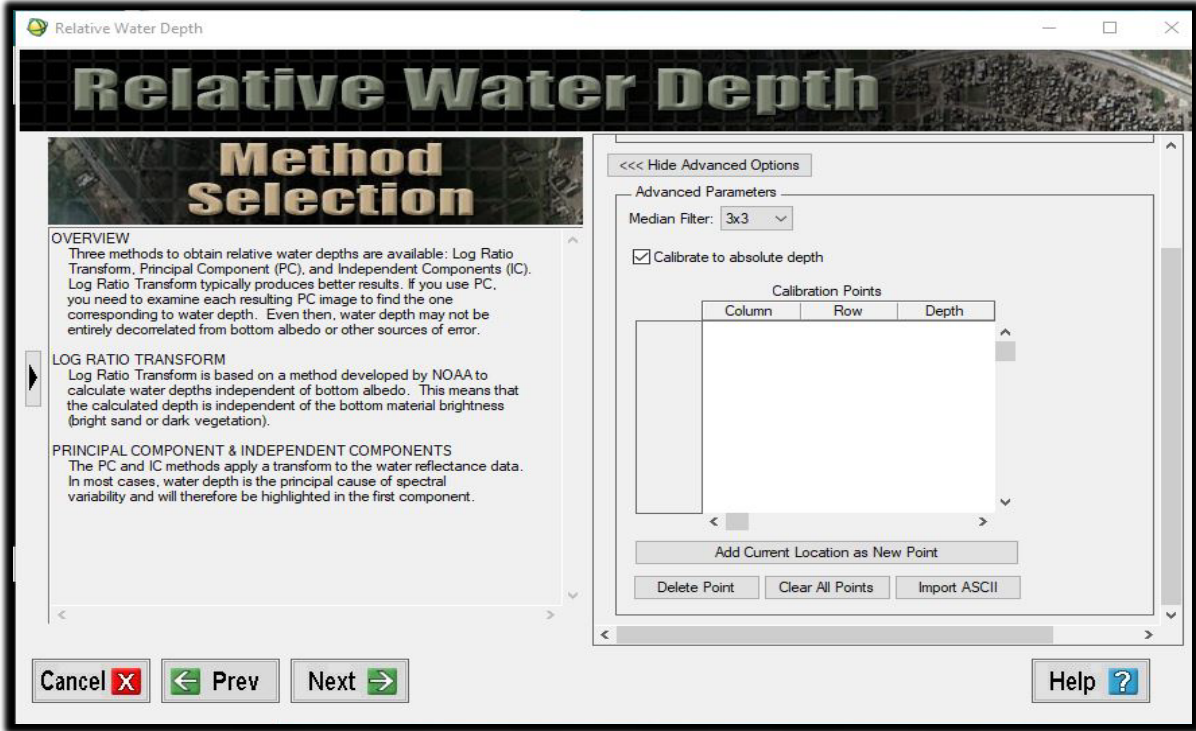


Şekil 4.9 Radyometrik Düzeltmesi Yapılmış Görüntü.

#### 4.3.2 Veri İşleme

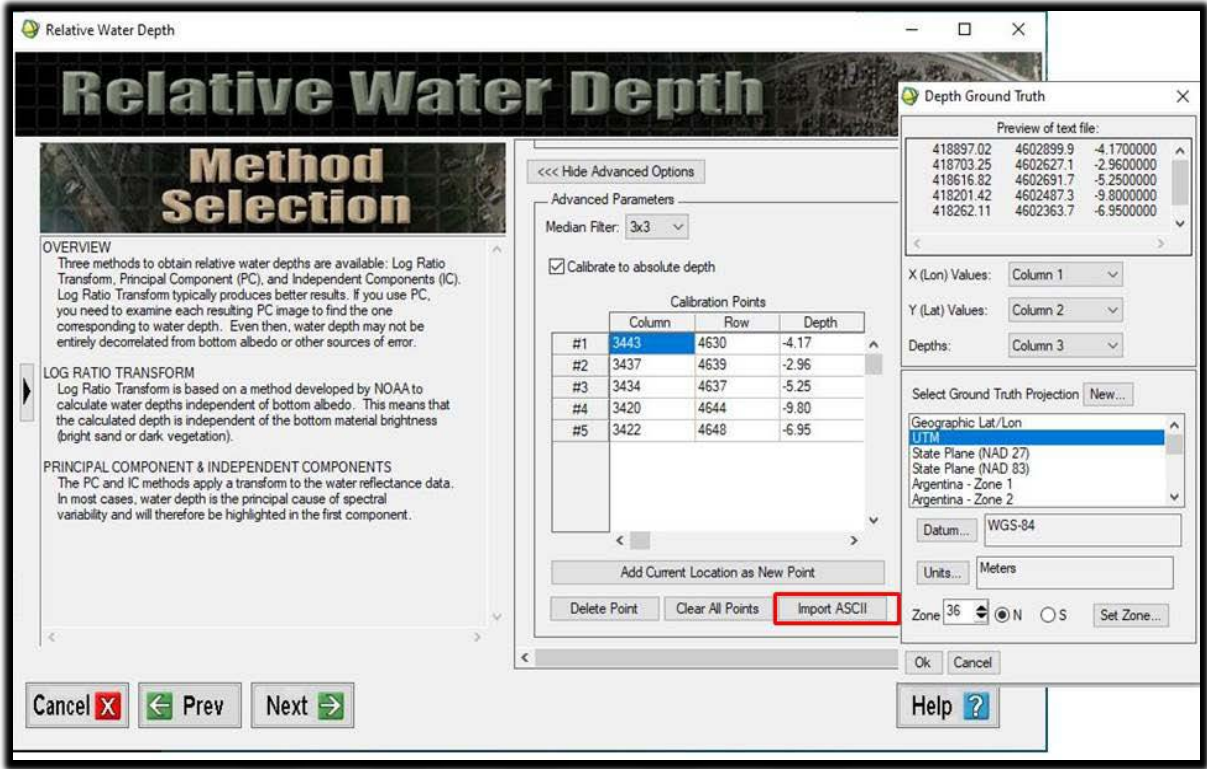
Radyometrik düzeltmesi yapılan görüntünün bağıl ve mutlak derinlik değerlerinin bulunması için ENVI Classic 5.3 yazılımının Relative Water Depth yani bağıl su derinliği (Şekil 4.10)

modülü kullanılarak referans (kontrol) noktalarının koordinatları ve derinlikleri girilerek elde edilmiştir.

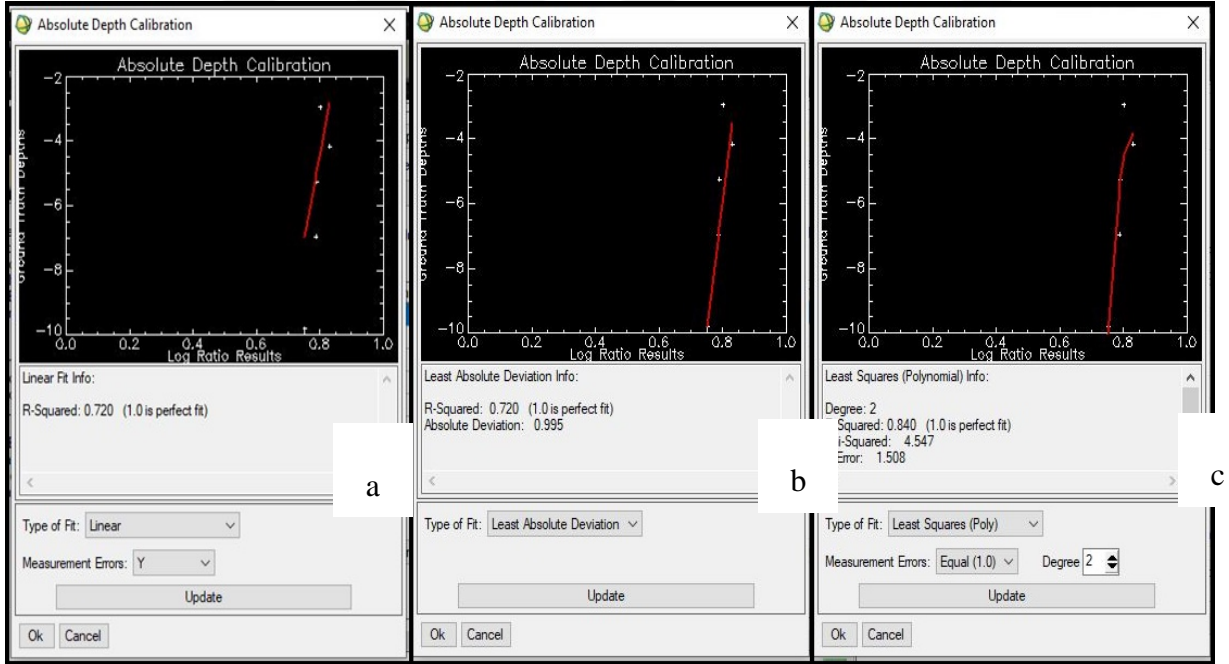


Şekil 4.10 ENVI Classic 5.3 Yazılımı Relative Water Depth Modülü.

Relative Water Depth modülü B2: Mavi, B3: Yeşil, B4: Kırmızı, B5: Yakın kızılötesi band kombinasyonu kullanılmıştır. Modül bağıl ve mutlak derinlikleri otomatik olarak vermektedir. Çalışmada LRT (Log Radio Transform) yöntemi kullanılmış olup medyan filtrelemesi için yüksek frekanslı görüntü elde edebilmek için ve detayları daha fazla görebilmek için 3x3 boyutlu medyan filtre kullanılmıştır. Gerçek derinlik ve bağıl derinlik arasındaki ilişkiyi kurabilmek için 5 adet kontrol nokta kullanılmıştır. Noktalar homojen dağılımlarına ve Lineer olmasına özen göstererek seçilmiştir. Seçilen noktalar ascii formatında Relative Water Depth modülüne yüklenerek (Şekil 4.11) kontrol noktalarının derinlikleri ve görüntü üzerinde oluşan bağıl derinlikler arasındaki korelasyon hesaplanmıştır (Şekil 4.12).

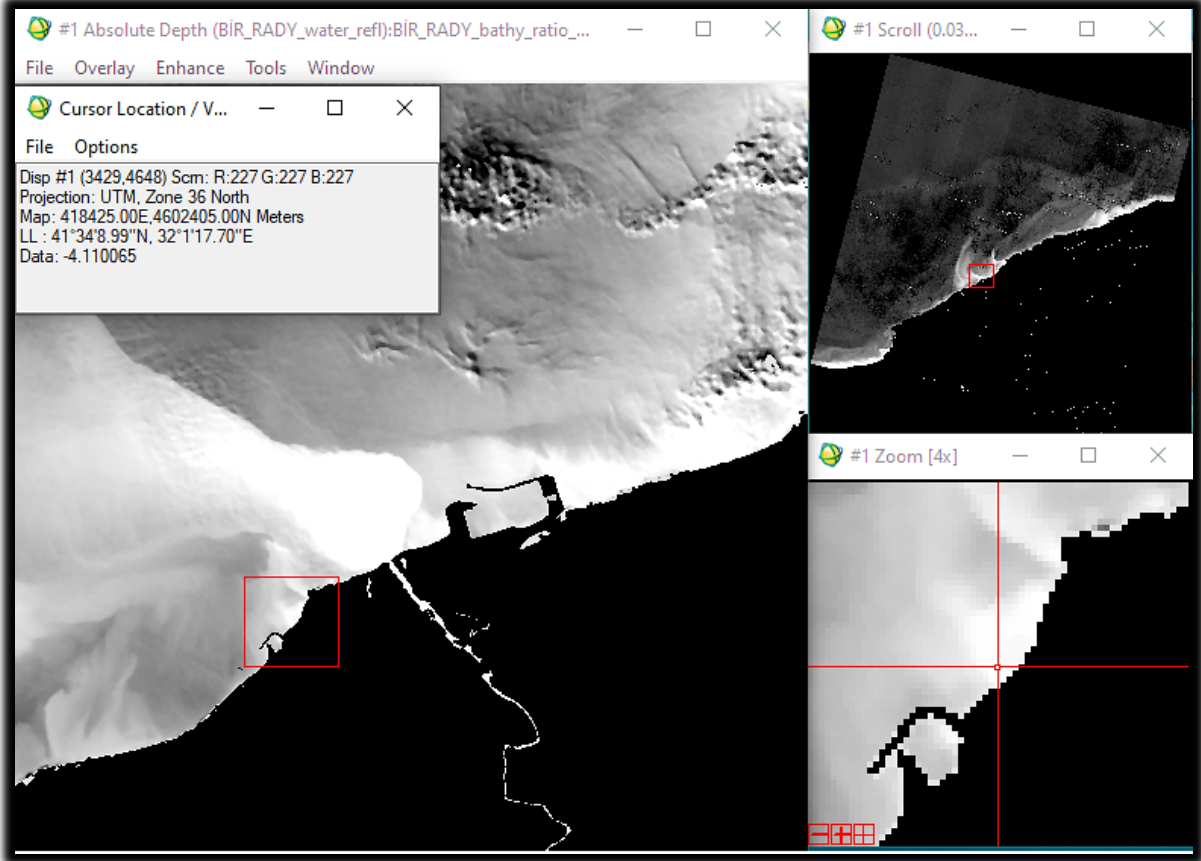


Şekil 4.11 ENVI Classic 5.3 Yazılımı Relative Water Depth Modülü Kontrol Noktalarının Yükleme.



Şekil 4.12 a) Linear Regresyon Modeli, b) En Küçük Sapma Modeli, c) En Küçük Kareler (Polinomal) Modeli.

Bağıl derinlik ve gerçek derinlik arasındaki farkı en küçük sapma ve en küçük kareler yöntemine göre ayrı ayrı kolerasyonlarına bakılmıştır. Her bir model için kolerasyon değerleri 1'e ne kadar yakınsa o kadar iyi demektir. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra görüntü üzerinde oluşan bağıl derinlik bilgileri mutlak derinlik bilgilerine dönüşür (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Mutlak Derinlik Görüntüsü.

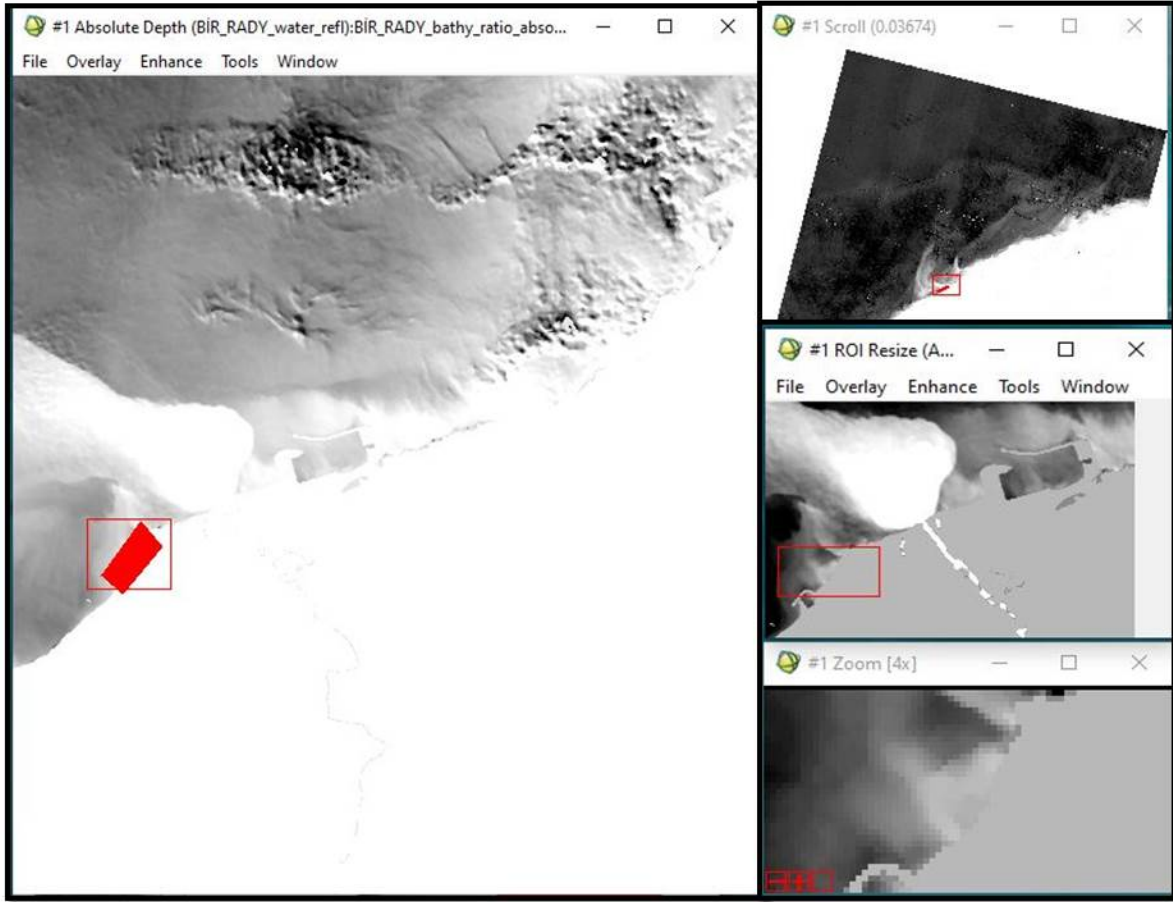
### 4.3.3 Çalışma Alanı (ROI) Belirleme

Görüntü üzerinden elde ettiğimiz mutlak derinlikler tüm görüntü üzerinde oluşmaktadır ve bu çalışma alanımızın dışında var olan birçok veri oluşması demektir. Bu yoğun ve gereksiz verilerden kurtulabilmek için çalışma alanını kesme işlemi yapıldı. Bu işlem sayesinde çalışma alanı daha rahat görülebilmekte ve sadece o alana ait verilere ulaşarak sonraki işlem adımlarında rahatlık sağlamaktadır. Kesme işlemi gerçekleştirilmek için Envi 5.3 yazılımının Basic Tools modülünün Region of Interest (ROI) aracı kullanılmıştır.

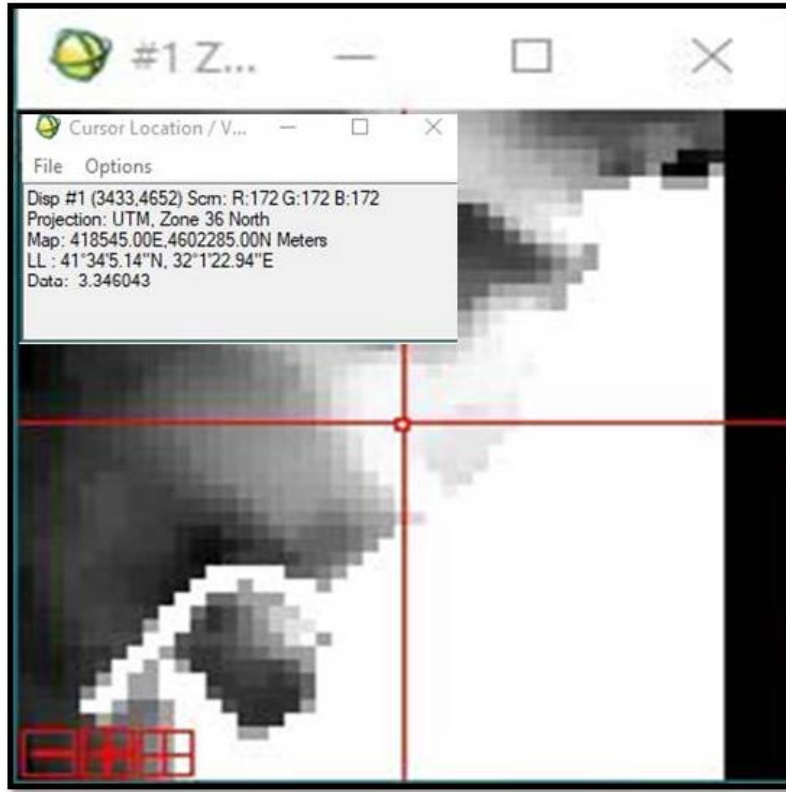
Kesme işlemini yapabilmek için önce çalışma alanını kapsayan Google Eart üzerinden 4 tane referans nokta seçilmiştir. (Çizelge 4.5) Bu noktalar ascii formatına dönüştürülerek ROI Tool aracı kullanılarak programa girilmiştir.

**Çizelge 4.5** ROI için Seçilen Referans Nokta Koordinatları.

Nokta No	Y(m)	X(m)
R1	417554.800	4602661.933
R2	418440.538	4601109.668
R3	424796.204	4604093.938
R4	423913.423	4606015.491



**Şekil 4.14** ROI Alanının Belirlenmesi.



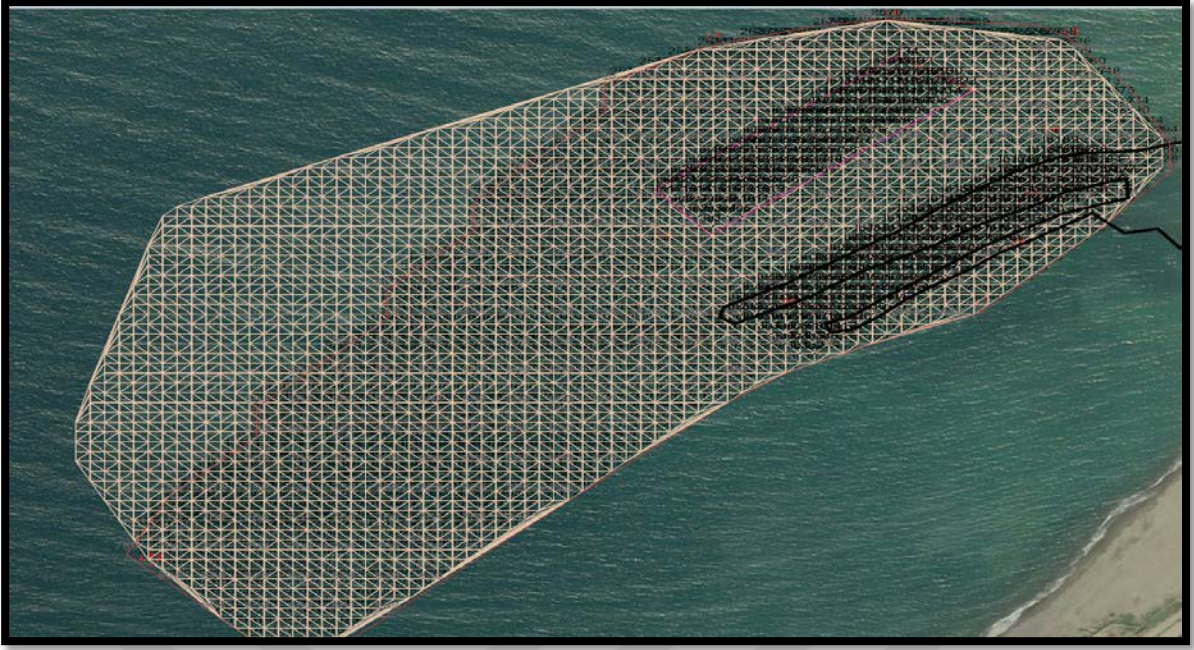
Şekil 4.15 ROI Alanının Oluşturulmuş Hali.

Kesme İşlemi yapılmadan önce ROI alanı referans noktalarla belirlenmiştir (Şekil 4.14). Belirlenen ROI alanının kesim işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.15).

#### 4.4 AKUSTİK İSKANDİL VE UYDU GÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK ÜRETİLEN BATİMETRİK HARİTALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde her iki teknikle üretilen batimetrik haritaların karşılaştırmalı olarak analizleri yapılmıştır. Karşılaştırma yaparken ölçü çifti şeklinde ayarlanan veriler arasındaki karesel ortalama hata ve korelasyon değerleri hesaplanmıştır.

Batimetrik ölçümler sonucu elde edilen nokta bulut verisi CAD programına aktarılarak sayısal derinlik modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.16).



**Şekil 4.16** İnsansız Su Üstü Aracı Kullanılarak Ölçülen Batimetrik Harita Sayısal Derinlik Modeli.

Uydu görüntülerinin değerlendirilmesi sonucu elde edilen nokta bulutu verisi Netcad programına aktarılarak sayısal derinlik modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.17).



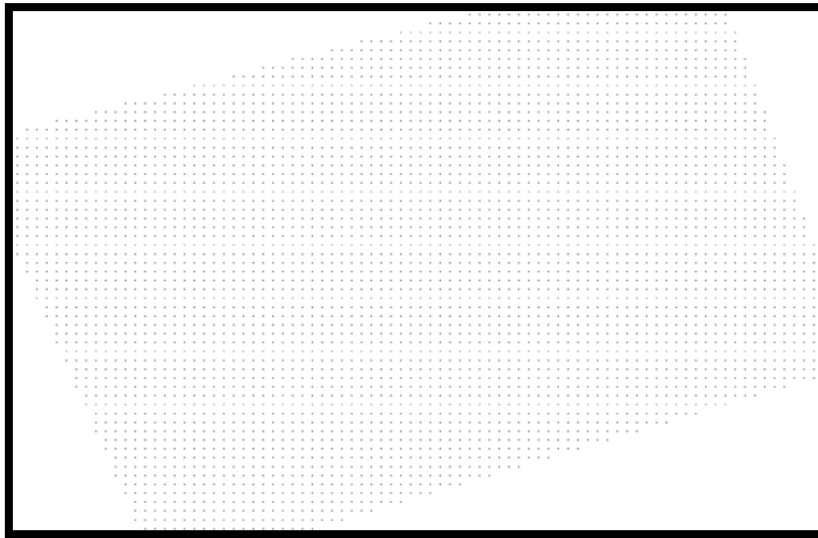
**Şekil 4.17** Uydu Görüntüleri Kullanılarak Üretilen Batimetrik Harita Sayısal Derinlik Modeli.

Farklı tekniklerle üretilen nokta bulutları dış sınırları arasında farklılıklar vardır. Uzaktan algılama tekniğinde daha geniş bir alanda üretim yapılmıştır. Analizde aynı bölge içinde kalan nokta bulutlarının karşılaştırılması için ortak alan seçilmiştir (Şekil 4.18).



**Şekil 4.18** Analizde Kullanılan Ortak Alan (Kırmızı Hat).

Ortak alan belirlendikten sonra iki teknikle elde edilen nokta bulutlarından elde edilen sayısal derinlik modelleri ayrı ayrı açılarak bu bölgelere ait 10 m aralıklı karelaj üretilmiştir. Karelajlar üretilirken nokta derinlikleri sayısal derinlik modellerinden elde edilmiştir. Aşağıdaki şekilde 10 m aralıklı karelaj nokta bulutu verileri verilmiştir (Şekil 4.19).

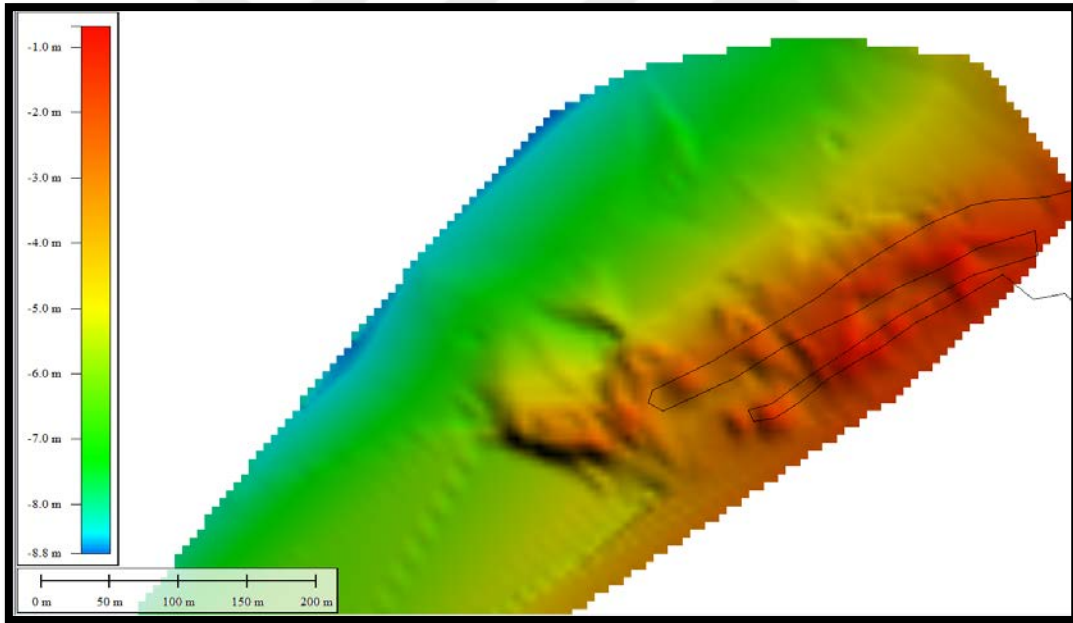


**Şekil 4.19** 10 m Aralıklı Grid Üretimi.

Bu aşamadan sonra eşit grid aralıkları için üretilen nokta bulut verilerinin karşılaştırılması çok daha kolay hale gelmiştir. Elde edilen verilerin grafik çizimlerini yapabilmek için Global Mapper TM. Yazılımı kullanılmıştır (global Mapper Kullanım klavuzu atıfı unutmama). 10 m'lik gridler ile yeniden oluşturulan batimetrik veriler programa aktarıldıktan sonra projeksiyon bilgileri girilmiştir.

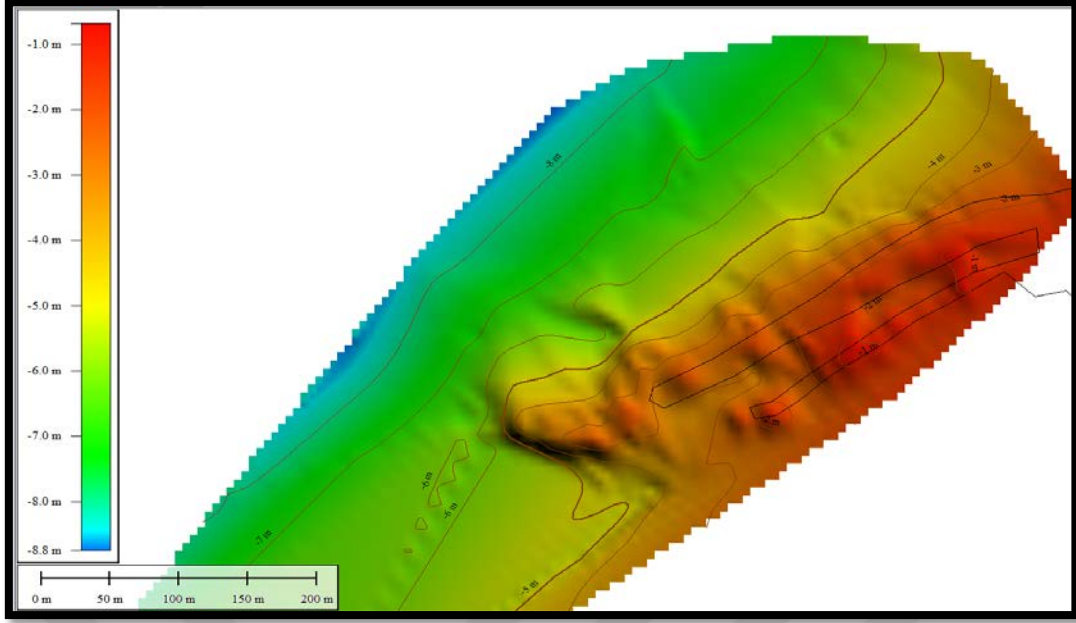
#### 4.4.1 Engebeli Dip Topografyasına Sahip (a) Bölge Analizleri

Aşağıdaki resimde Şekil 4.6'da a bölgesi olarak tanımlanan alan için insansız su üstü araçtan ölçülen batimetrik verilerden yeniden örneklendirilerek oluşturulmuş grid model verilmiştir. Yeniden örnekleme yapılırken bilinear enterpolasyon yöntemi tercih edilmiştir. Çizimde sol tarafta derinlik bilgisinin renklere göre değişiminin verildiği lejant yerleştirilmiştir. Sol altta ise harita ölçeği vardır. Sonraki şekillerde aynı standartta renklendirme yapılmıştır.



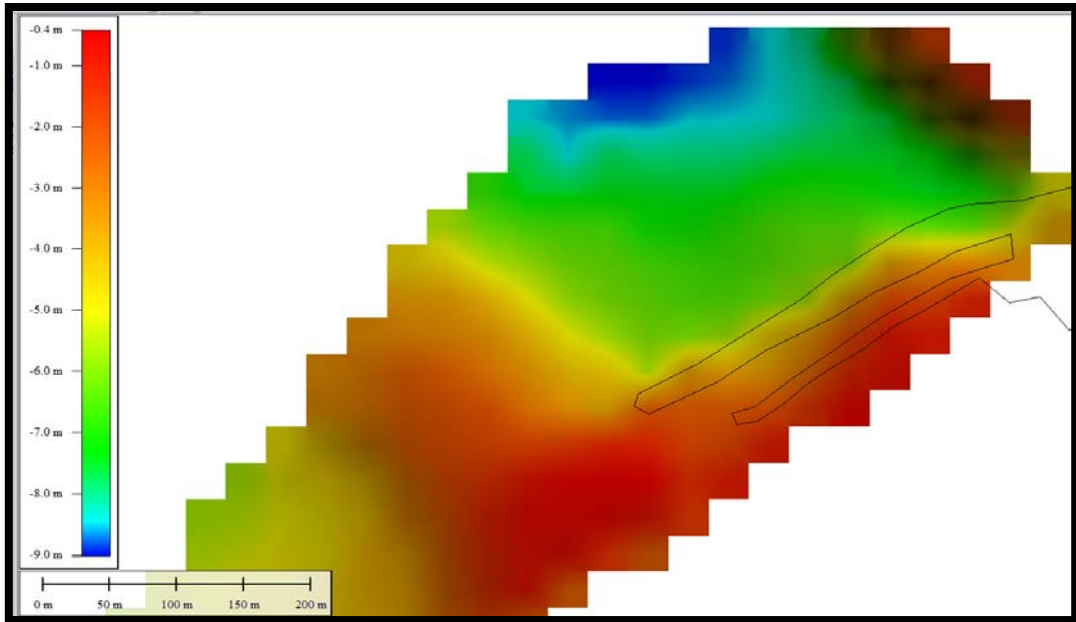
Şekil 4.20 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m Aralıklı Grid Modeli (Batimetrik Ölçüm).

Aşağıdaki şekilde ise Şekil 4.20'de verilen grid modele eş derinlik (izobat) eğrileri işlenmiş hali görülmektedir.



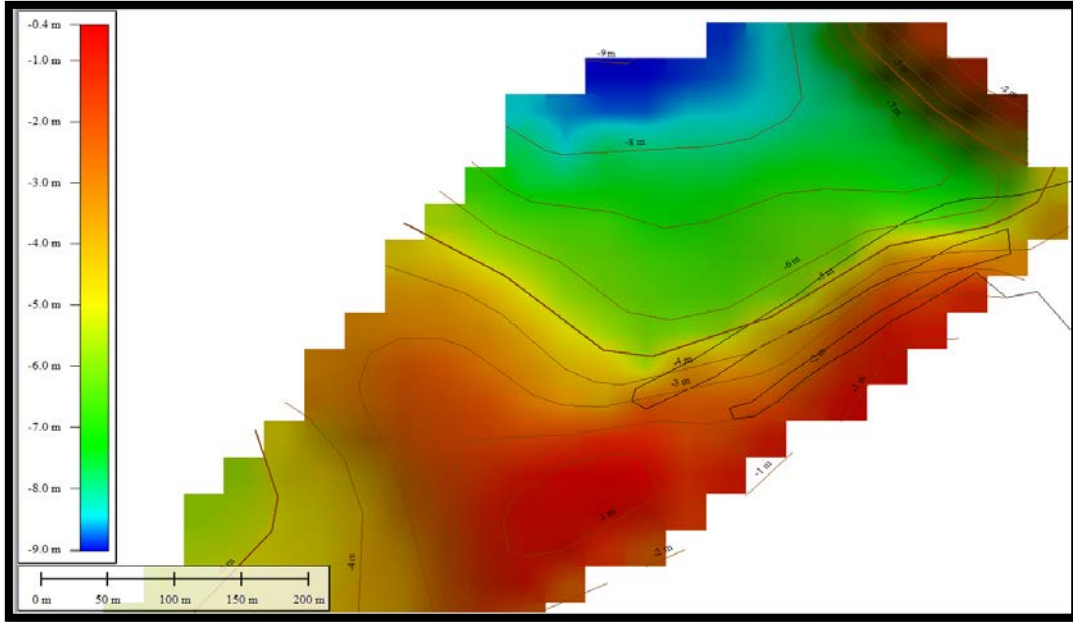
Şekil 4.21 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m Aralıklı Grid Modeli ve İzobat Eğrileri.

Aşağıdaki şekilde engebeli dip topografyası (a) olarak tanımlanan bölge için uydu görüntülerinden elde edilen verilerin yeniden örneklendirilerek oluşturulmuş grid model verilmiştir.



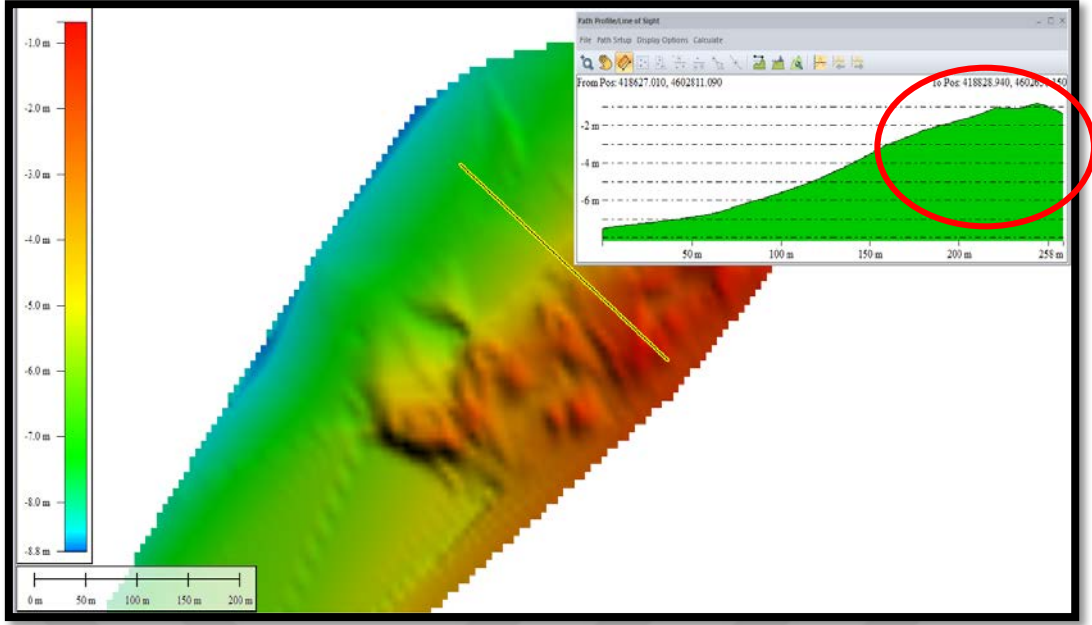
Şekil 4.22 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m aralıklı Grid Modeli (Uydu Bazlı).

Aşağıdaki şekilde ise Şekil 4.22’de verilen grid modele eş derinlik (izobat) eğrileri işlenmiş hali görülmektedir.

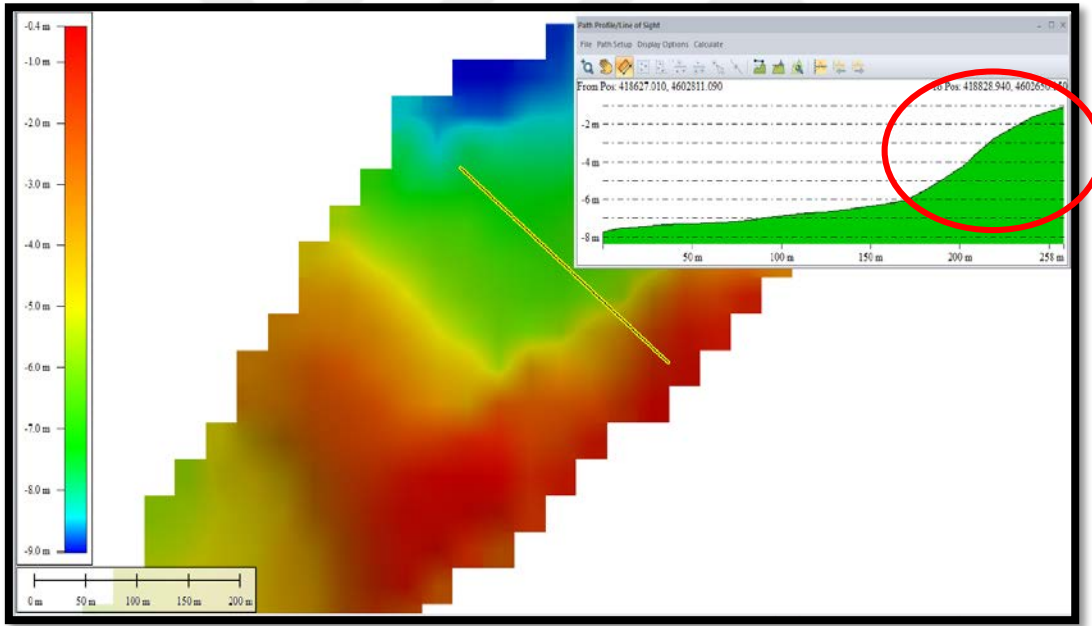


**Şekil 4.23** Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m Aralıklı Grid Modeli ve İzobat Eğrileri (Uydu Bazlı).

Yukarıdaki şekiller detaylı incelendiğinde her iki teknikle engebeli dip topografyasına sahip bölgenin iyi bir şekilde belirlendiği anlaşılmaktadır. İki teknikle üretilen modellerde de dip kayalıklarının su yüzeyinden 1-2 m derinlikte olduğu anlaşılmaktadır. Olayın daha iyi anlaşılabilmesi için ileri analizler yapılmıştır. Bu amaçla aşağıdaki şekillerde boykesit çizdirilerek topografyadaki değişimler incelenmiştir. Şekillerde sarı renkli düz çizgi boykesit hattını temsil etmektedir. Sağ üstte boyprofil verilmiştir. Boyprofilde gösterilen kırmızı elips yaklaşık olarak kayalık bölgeyi temsil etmektedir.



Şekil 4.24 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m Aralıklı Grid Model Boykesit (Batimetrik Ölçüm).



Şekil 4.25 Engebeli Dip Topografyası (a) 10 m Aralıklı Grid Model Boykesit (Uydu Bazlı).

Şekil 4.24 ve 4.25’de iki teknikle üretilen batimetrik haritalar üzerinden çizdirilen derinlik profilleri görülmektedir. Profiller incelendiğinde dip topografyasının -8 m civarında başlayıp kayalık alana gelindiğinde -2 m civarına yükseldiği ve boy profillerin benzeştiği anlaşılmaktadır.

Benzeşmenin daha net sonuçlarına ulaşabilmek için yöntemler arası korelasyon ve soncul karesel ortalama hataları hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.6** Engebeli Dip Topografyası (a) Bölgesi Korelasyon Hesabı.

Antik Liman a Bölgesi Batimetrik Grid				Antik Liman a Bölgesi Uydu Grid				di	dd	v1	v1v1	v1	v1v1	v1v2
Nokta No	Sağa (m)	Yukarı (m)	Derinlik (m)	Nokta No	Sağa (m)	Yukarı (m)	Derinlik (m)							
iu1	418650	4602710	-6.209	is1	418650	4602710	-5.768	-0.441	0.194	-11.662	136.004	-12.006	144.144	140.015
iu2	418640	4602720	-6.209	is2	418640	4602720	-6.116	-0.093	0.009	-11.662	136.004	-11.658	135.909	135.957
iu3	418650	4602720	-6.283	is3	418650	4602720	-5.943	-0.340	0.116	-11.588	134.284	-11.831	139.973	137.099
iu4	418660	4602720	-6.381	is4	418660	4602720	-5.771	-0.610	0.372	-11.490	132.022	-12.003	144.072	137.916
iu5	418670	4602720	-6.448	is5	418670	4602720	-5.599	-0.849	0.721	-11.423	130.487	-12.175	148.231	139.076
iu6	418630	4602730	-6.197	is6	418630	4602730	-6.415	0.218	0.048	-11.674	136.284	-11.359	129.027	132.606
iu7	418640	4602730	-6.283	is7	418640	4602730	-6.291	0.008	0.000	-11.588	134.284	-11.483	131.859	133.066
iu8	418650	4602730	-6.381	is8	418650	4602730	-6.119	-0.262	0.069	-11.490	132.022	-11.655	135.839	133.917
iu9	418660	4602730	-6.478	is9	418660	4602730	-5.946	-0.532	0.283	-11.393	129.802	-11.828	139.902	134.757
iu10	418670	4602730	-6.546	is10	418670	4602730	-5.774	-0.772	0.596	-11.325	128.257	-12.000	144.000	135.901
iu11	418680	4602730	-6.584	is11	418680	4602730	-5.602	-0.982	0.964	-11.287	127.398	-12.172	148.158	137.386
iu12	418620	4602740	-6.292	is12	418620	4602740	-6.754	0.462	0.213	-11.579	134.075	-11.020	121.441	127.602
iu13	418630	4602740	-6.332	is13	418630	4602740	-6.607	0.275	0.076	-11.539	133.150	-11.167	124.702	128.857
iu14	418640	4602740	-6.392	is14	418640	4602740	-6.466	0.074	0.005	-11.479	131.769	-11.308	127.871	129.806
iu15	418650	4602740	-6.489	is15	418650	4602740	-6.294	-0.195	0.038	-11.382	129.552	-11.480	131.791	130.666
iu16	418660	4602740	-6.587	is16	418660	4602740	-6.122	-0.465	0.216	-11.284	127.331	-11.652	135.769	131.482
iu17	418670	4602740	-6.698	is17	418670	4602740	-5.95	-0.748	0.560	-11.173	124.838	-11.824	139.807	132.111
iu18	418680	4602740	-6.735	is18	418680	4602740	-5.777	-0.958	0.918	-11.136	124.012	-11.997	143.928	133.600
iu19	418690	4602740	-6.773	is19	418690	4602740	-5.609	-1.164	1.355	-11.098	123.167	-12.165	147.987	135.008
iu20	418620	4602750	-6.43	is20	418620	4602750	-6.894	0.464	0.215	-11.441	130.898	-10.880	118.375	124.479

Çizelge 4.6’da engebeli topografyaya sahip (a) bölge için her iki teknikte elde edilen verilerin korelasyon hesabı verilmiştir. Hesaplama tüm veriler kullanılmış olup Çizelgede örnek 20 veri sunulmuştur. Çizelgede aynı yatay konuma denk gelen ölçü çiftleri olarak düşünülen veriler arası korelasyon belirlenmiştir. Eş gridlerden üretilen nokta kümeleri ölçü çifti olarak ele alınmıştır. Jeodezik amaçlı ölçmeler aynı zamanda hukuki belge niteliği de taşıdığı için ölçmeler en az iki kere kontrollü olarak yapılmaktadır (Bektaş, 2002). Uygulamadaki veriler de bu başlıkta incelenmiş ve aşağıda verilen formülle ağırlıkların farklı olması durumunda karesel ortalama hesaplanmıştır.

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pdd]}{2n}} \quad (4.1)$$

Burada  $m_0$  karesel ortalama hata,  $p$  ölçü ağırlıkları,  $d$  ölçü farkları ve  $n$  ölçü sayısını temsil etmektedir.

Farklı tekniklerle üretilen nokta bulutları arasındaki korelasyonlar hesaplanırken aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmıştır;

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[v_b v_b]}{n-1}} \quad (4.2)$$

$$m_y = \pm \sqrt{\frac{[v_u v_u]}{n-1}} \quad (4.3)$$

$$m_{xy} = \frac{[v_b v_u]}{n-1} \quad (4.4)$$

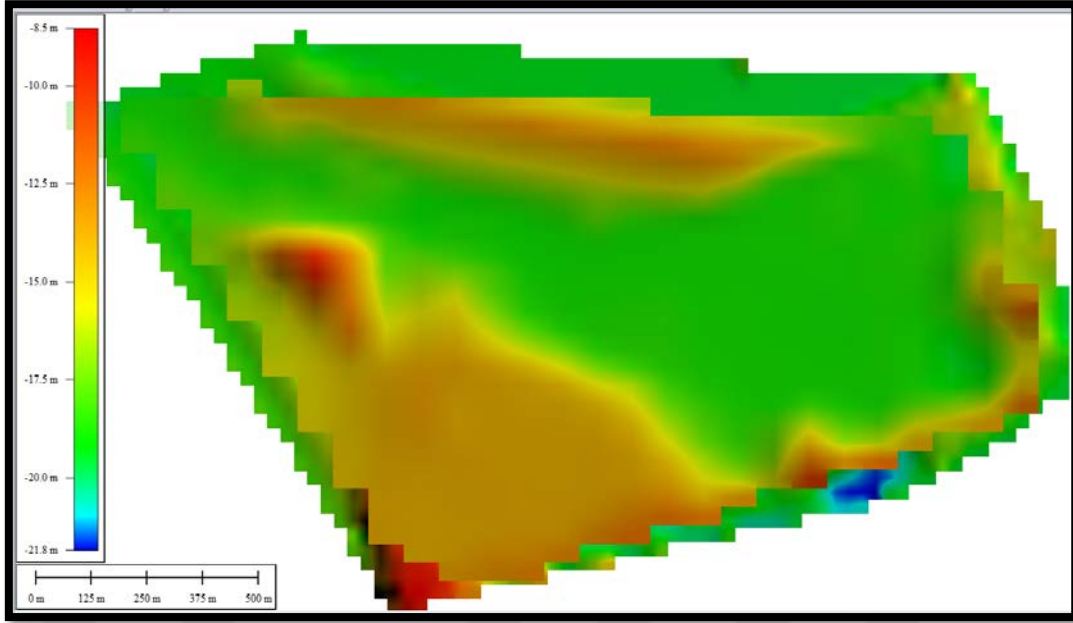
$$r_{xy} = \frac{m_{xy}}{m_x m_y} \quad (4.5)$$

Burada,  $m_x$ , klasik batimetrik gözlemlerden elde edilen verilerin karesel ortalama hatasını (4.2),  $m_y$  uzaktan algılama tekniği ile üretilen verilerin karesel ortalama hatasını (4.3),  $m_{xy}$  kovaryansı (4.4),  $r_{xy}$  (4.5) ise korelasyon katsayısını temsil etmektedir.

Sonuç olarak (a) bölgesi için soncul karesel ortalama  $m_0 = \pm 0.64 m$ , korelasyon katsayısı ise  $r_{xy} = 0.41$  olarak belirlenmiştir. Korelasyona bakıldığında iki veri seti arasında çok yüksek bir korelasyon çıkmadığı anlaşılmıştır. Uydu görüntüsü üzerinde özellikle kayalık alanların denk geldiği piksellerde hem kayalık hem de düz dip topografyasına denk gelmesinin korelasyonu düşürdüğü düşünülmektedir. Tek Işınlı akustik iskandil yöntemi ile belirlenen derinlikler nokta bazlı olduğundan özellikle dip topografyasının ani değiştiği bölgelerde korelasyonun iyi çıkmaması normal karşılanmıştır. Durumun daha iyi anlaşılabilmesi için bölgede dip topografyasının daha düz olduğu bir bölgede (b) karşılaştırmalar yapılmıştır.

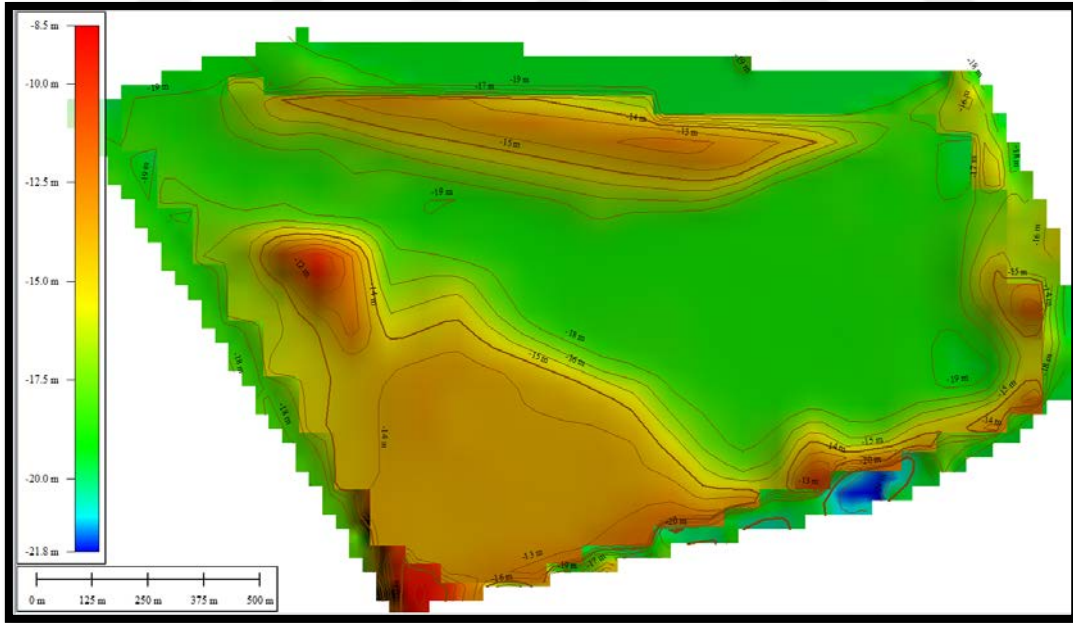
#### 4.4.2 Düz Dip Topografyasına Sahip (b) Bölgesi Analizleri

Çalışmanın bu kısmında bölgede nispeten daha düz bir dip topografyasında analizler yapılmıştır (Şekil 4.26).



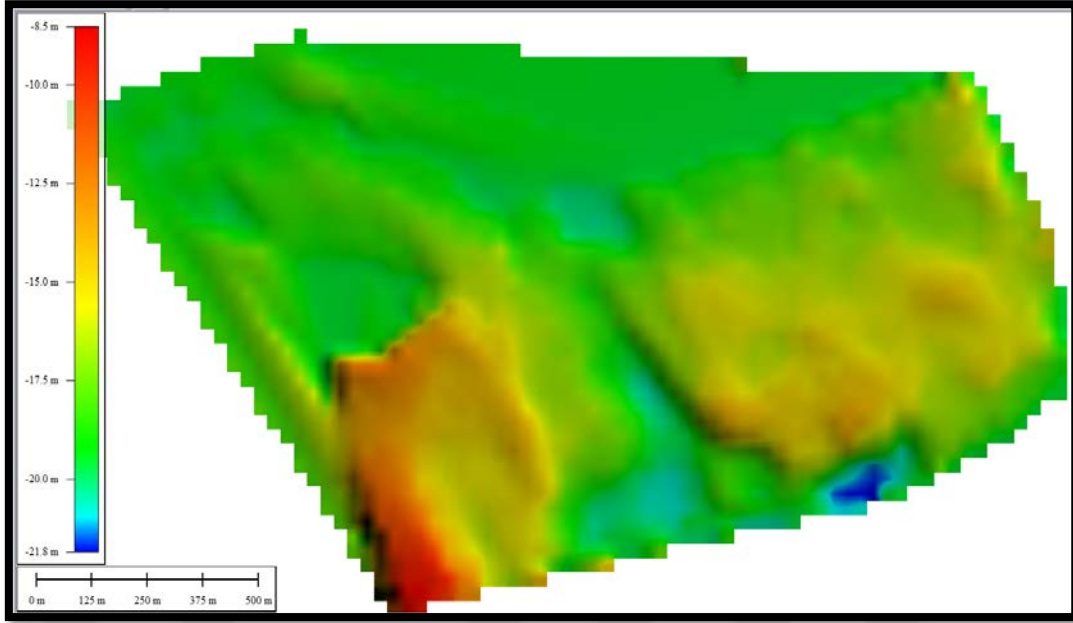
**Şekil 4.26** Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m Aralıklı Grid Modeli (Batimetrik Ölçüm).

Aşağıdaki şekilde ise şekil 4.27’de verilen grid modele eş derinlik (izobat) eğrileri işlenmiş hali görülmektedir.



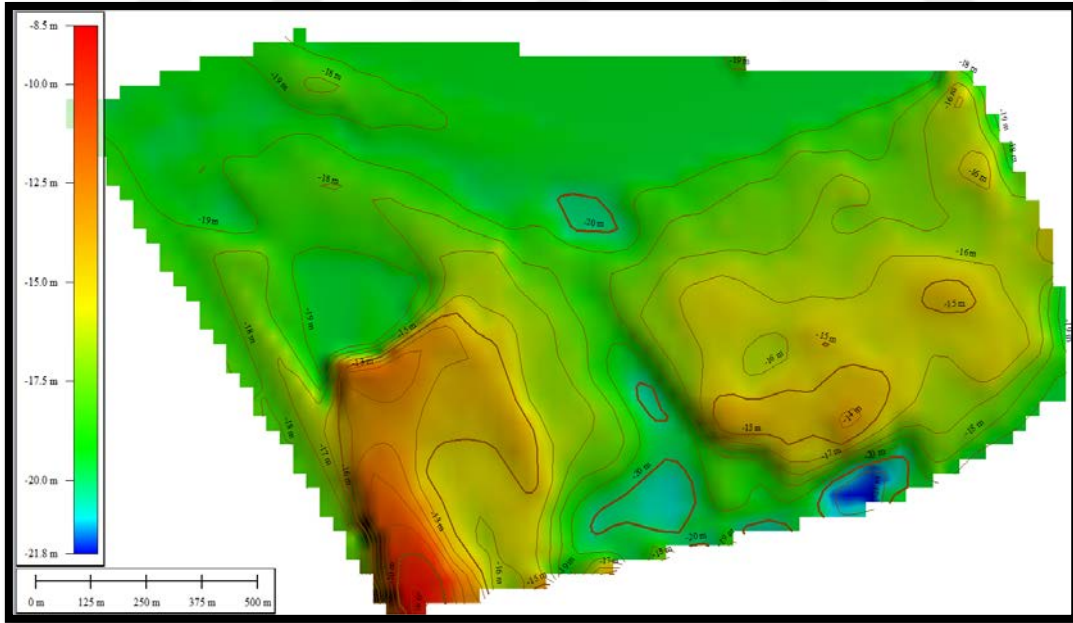
**Şekil 4.27** Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m Aralıklı Grid Modeli ve İzobat Eğrileri (Batimetrik Ölçüm).

Aşağıdaki resimde b bölgesi olarak tanımlanan alan için uydu görüntülerinden elde edilen verilerin yeniden örneklendirilerek oluşturulmuş grid model verilmiştir. (Şekil 4.28).



**Şekil 4.28** Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m Aralıklı Grid Modeli (Uydu Bazlı).

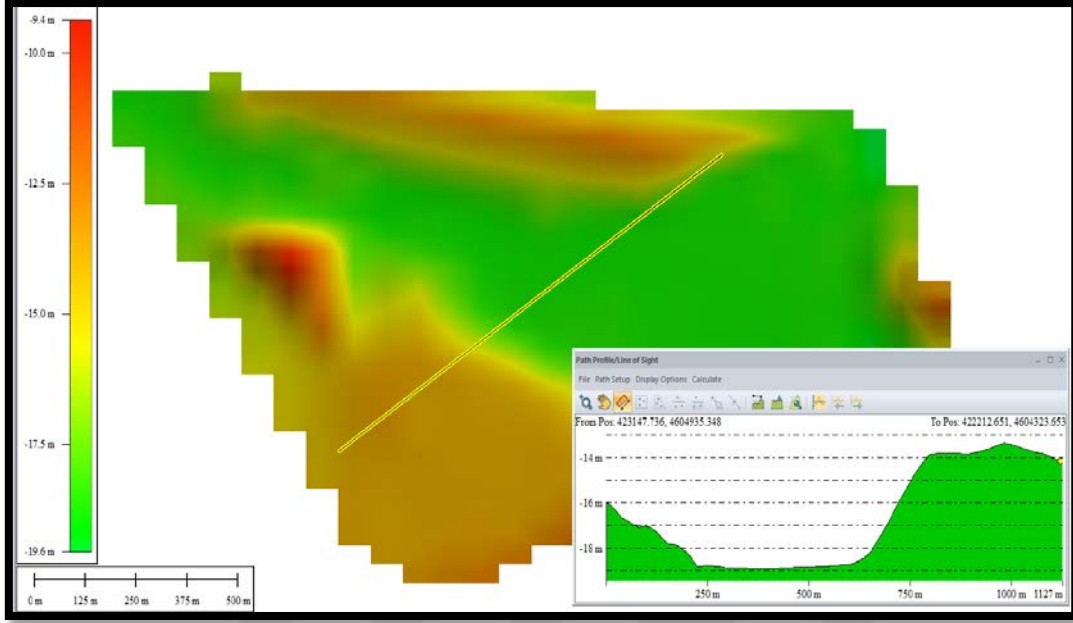
Aşağıdaki şekilde ise Şekil 4.29’da verilen grid modele eş derinlik (izobat) eğrileri işlenmiş hali görülmektedir.



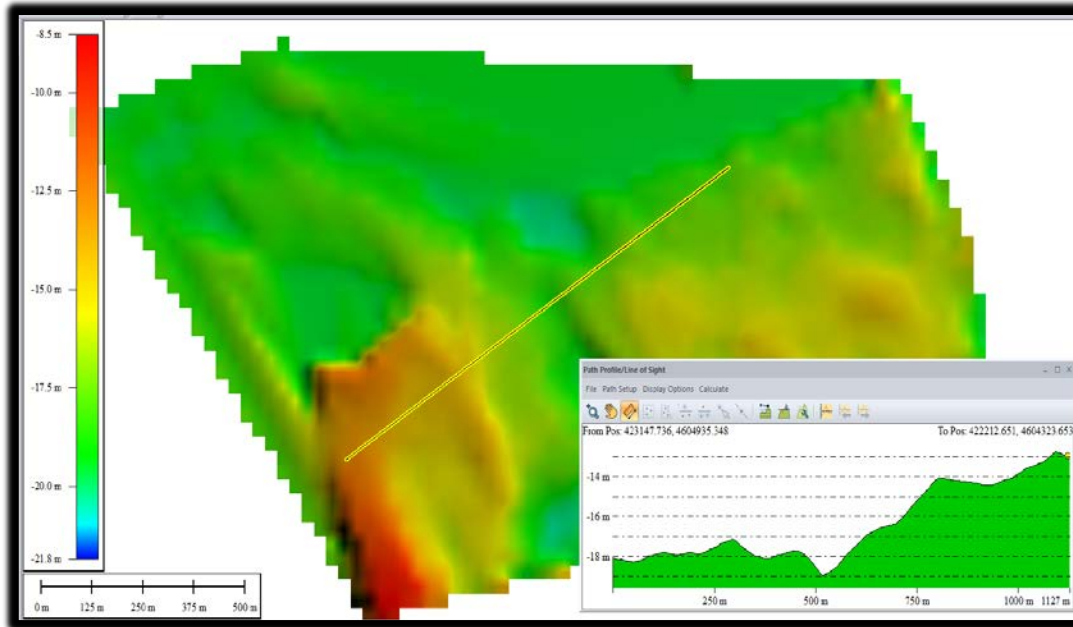
**Şekil 4.29** Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m Aralıklı Grid Modeli ve İzobat Eğrileri (Uydu Bazlı).

Yukarıdaki şekiller detaylı incelendiğinde her iki teknikle üretilen batimetrik haritaların benzeştiği anlaşılmaktadır. Olayın daha iyi anlaşılabilmesi için ileri analizler yapılmıştır. Bu

amaçla aşağıdaki şekillerde boykesit çizdirilerek topografyadaki değişimler incelenmiştir. (Şekil 4.30 ve Şekil 4.31) Şekillerde sarı renkli düz çizgi boykesit hattını temsil etmektedir. Sağ altta boyprofil verilmiştir.



Şekil 4.30 Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m Aralıklı Grid Model Boykesit (Batimetrik Ölçüm).



Şekil 4.31 Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) 10 m aralıklı Grid Model Boykesit (Uydu Bazlı).

Çalışma bölgesinin nispeten daha düz dip topografyasına sahip (b) bölgesindeki boyprofil çizimleri incelendiğinde derinliklerin -18 m ile başlayıp boyprofilin 750 m civarında -14 m ye çıktığı açıkça görülmektedir.

Benzeşmenin daha net sonuçlarına ulaşabilmek için yöntemler arası korelasyon ve soncul karesel ortalama hataları hesaplanmıştır (Çizelge 4.7). Çizelgede örnek 20 veri sunulmasına rağmen hesaplamada tüm veriler kullanılmıştır.

**Çizelge 4.7 Düz Dip Topografyası Bölgesi (b) Bölgesi Korelasyon Hesabı.**

Antik Liman b Bölgesi Batimetrik Grid				Antik Liman b Bölgesi Uydu Grid				di	dd	v1	v1v1	v1	v1v1	v1v2
Nokta No	Sağa (m)	Yukarı (m)	Derinlik (m)	Nokta No	Sağa (m)	Yukarı (m)	Derinlik (m)							
is1	422140	4604810	-18.451	iu1	422140	4604810	-18.462	0.011	0.000	-0.166	0.028	-0.087	0.008	0.015
is2	422150	4604810	-18.390	iu2	422150	4604810	-18.421	0.031	0.001	-0.227	0.052	-0.128	0.017	0.029
is3	422160	4604810	-18.338	iu3	422160	4604810	-18.391	0.053	0.003	-0.279	0.078	-0.158	0.025	0.044
is4	422090	4604820	-18.155	iu4	422090	4604820	-18.556	0.401	0.161	-0.462	0.214	0.007	0.000	-0.003
is5	422100	4604820	-18.236	iu5	422100	4604820	-18.556	0.320	0.102	-0.381	0.145	0.007	0.000	-0.002
is6	422110	4604820	-18.318	iu6	422110	4604820	-18.543	0.225	0.051	-0.299	0.090	-0.006	0.000	0.002
is7	422120	4604820	-18.400	iu7	422120	4604820	-18.499	0.099	0.010	-0.217	0.047	-0.050	0.003	0.011
is8	422130	4604820	-18.482	iu8	422130	4604820	-18.423	-0.059	0.003	-0.135	0.018	-0.126	0.016	0.017
is9	422140	4604820	-18.486	iu9	422140	4604820	-18.340	-0.146	0.021	-0.131	0.017	-0.209	0.044	0.027
is10	422150	4604820	-18.372	iu10	422150	4604820	-18.298	-0.074	0.005	-0.245	0.060	-0.251	0.063	0.062
is11	422160	4604820	-18.257	iu11	422160	4604820	-18.298	0.041	0.002	-0.360	0.130	-0.251	0.063	0.091
is12	422170	4604820	-18.304	iu12	422170	4604820	-18.269	-0.035	0.001	-0.313	0.098	-0.280	0.079	0.088
is13	422050	4604830	-17.940	iu13	422050	4604830	-18.411	0.471	0.222	-0.677	0.459	-0.138	0.019	0.094
is14	422060	4604830	-18.022	iu14	422060	4604830	-18.438	0.416	0.173	-0.595	0.354	-0.111	0.012	0.066
is15	422070	4604830	-18.103	iu15	422070	4604830	-18.438	0.335	0.112	-0.514	0.264	-0.111	0.012	0.057
is16	422080	4604830	-18.185	iu16	422080	4604830	-18.438	0.253	0.064	-0.432	0.187	-0.111	0.012	0.048
is17	422090	4604830	-18.267	iu17	422090	4604830	-18.438	0.171	0.029	-0.350	0.123	-0.111	0.012	0.039
is18	422100	4604830	-18.349	iu18	422100	4604830	-18.425	0.076	0.006	-0.268	0.072	-0.124	0.016	0.033
is19	422110	4604830	-18.430	iu19	422110	4604830	-18.412	-0.018	0.000	-0.187	0.035	-0.137	0.019	0.026
is20	422120	4604830	-18.512	iu20	422120	4604830	-18.368	-0.144	0.021	-0.105	0.011	-0.181	0.033	0.019

Sonuç olarak (b) bölgesi için soncul karesel ortalama  $m_0 = \pm 0.49 m$ , korelasyon katsayısı ise  $r_{xy} = 0.54$  olarak belirlenmiştir. Korelasyona bakıldığında iki veri seti arasında (a) bölgesine göre daha iyi bir korelasyon yakalanmıştır. Dip topografyasının daha düz olduğu bu bölgede uydu görüntüsü ve klasik batimetrik gözlemlerle üretilen nokta bulutları arası korelasyon daha iyi çıkmış, karesel ortalama hata da iyileşmiştir.

Çalışma alanının tamamı için İHO standartlarına göre hata hesaplaması da yapılmıştır. Buna göre “Hidrografik Ölçmelerde Standardizasyon” başlığı altında verilen Çizelgede limanlar ve limanlara yaklaşım bölgeleri için tanımlanan “Özel” kısmına göre derinliğe bağlı beklenen doğruluk kriteri hesaplanmıştır. Bölüm 2.5’te verilen formül 2.3 göre TVU değeri ortalama derinlik değerine göre  $\pm 0.28 m$  olarak belirlenmiştir.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR

Bu çalışmada özellikle günümüzde dünya genelinde gün geçtikte artan bir yoğunlukta kullanım alanı bulan uydu görüntüleri kullanılarak batimetrik harita üretimi amaçlanmıştır. Uygulamada örnek bölge olarak Zonguldak İli Çaycuma ilçesine bağlı Filyos bölgesi seçilmiştir. Bölgede sahil bandında batimetrik çalışmaları yürütülmüş ve akustik iskandil yöntemi ile elde edilen batimetrik haritalar ile uzaktan algılama tekniği ile elde edilen batimetrik haritalar karşılaştırılarak yöntemin kullanılabilirliği irdelenmiştir.

Çalışmanın uzaktan algılama bölümünde uydu verisi olarak Landsat 8 uydu görüntüsünden yararlanılmış, verilerin analizi için ise Envi Classic 5.3 uzaktan algılama yazılımı kullanılmıştır. Uydu görüntüsüne ait geometrik ve radyometrik hataların giderilmesi için ön değerlendirme yapılmış sonrasında ise maskeleyme ve band oranlaması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Verinin işlenmesinde LRT yöntemi kullanılmıştır.

Bölgenin batimetrik haritasını oluşturmak ve uzaktan algılama yöntemi ile elde edilen batimetrik haritanın değerlendirilmesinde referans olarak kullanılmak üzere insansız su üstü aracı kullanılmıştır. Aracın üzerine TUSAGA-Aktif Uyumlu GNSS alıcısı yerleştirilmiş ve tekne yatay konumu yüksek doğrulukla belirlenmiştir. GNSS alıcısı ile aynı düşey konumda ve teknenin karına bölgesine de akustik iskandil cihazı monte edilmiştir. Rüzgâr ve dalga yönünden etüt edilen uygun bir günde çalışmaya konu her iki bölgede de batimetrik harita üretilmiştir.

Referans harita ile karşılaştırma sonucunda verilere ait karesel ortalama hata değerleri bulunmuş ve en az hata oranına sahip band kombinasyonlarının B1-B6, B2-B6, B2-B5 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu üç değerlendirme sonucu elde edilen nokta bulutları CAD yazılımlarında sayısal derinlik modellerine çevrilmiştir. Akustik iskandil yöntemi ile elde

edilen nokta bulutlarından oluşturulan derinlik modelleri ile karşılaştırılarak yorumlanmış ve en uygun değerlendirmenin B2-B5 kombinasyonu olduğu anlaşılmıştır.

B2-B5 kombinasyonu kullanılarak bölgenin sayısal derinlik modeli oluşturulmuştur. Çalışma alanı iki ayrı bölgede incelenmiştir. Özellikle uzaktan algılama tekniği ile derinlik belirlenirken kayalık alanların denk geldiği piksellerde hem engebeli hem de düz dip topografyası olmasından dolayı problemler yaşanmıştır. Durumu daha net ortaya koyabilmek adına çalışma alanı düz dip topografyası ve engebeli olarak iki ayrı bölümde incelenmiştir.

Bölgeye ait uydu görüntüsü sayısallaştırılarak bölge dış sınırları vektör harita haline getirilmiştir. Farklı teknikler ile farklı grid aralıklarında ve genişlikte üretilen derinlik verilerini daha kolay yorumlayabilmek için dış sınır belirlenmiştir. Bu dış sınır içinde kalan bölge 10 m grid aralıklarına bölünmüştür. Akustik iskandil ve uzaktan algılama tekniği ile üretilen batimetrik verilerden ayrı ayrı sayısal derinlik modeli oluşturulmuş ve aynı grid noktalarına derinlik bilgisi hesaplanmıştır. Gridlerde yeniden örnekleme yapılırken bilinear enterpolasyon yöntemi tercih edilmiştir.

Uzaktan algılama değerlendirmeleri ve klasik batimetri ölçümleri sonucunda elde edilen nokta bulutlarının görselleştirilmesi ve analizlerinde Global Mapper TM programından yararlanılmıştır. Program üzerinde boy profiller çıkartılarak kesitleri ayrı ayrı incelenmiştir. Kesitlerde özellikle düz dip topografyasından kayalık bölgeye geçiş, uzaktan algılama verileri ile belirgin bir şekilde ayırt edilebildiği ortaya çıkmıştır.

Görsel analizler ve karşılaştırmalar yapıldıktan sonra sayısal sonuçlar ortaya koymak adına da analizler yapılmıştır. 10 m gridlere ayrılan bölgelerde ölçü çifti olarak düşünülen veriler için karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır. Engebeli ve düz dip topografyasına sahip iki alana bölünen (a ve b) kısımlarda aynı grid yatay koordinatlarına denk gelen derinlik değerleri uzaktan algılama ve klasik batimetri yöntemleri ile ayrı ayrı hesaplanmıştır. Karesel ortalama hata değeri a bölgesi için  $m_0 = \pm 0.64 m$  olarak belirlenmiştir. Daha düz bir dip topografyasına sahip "b" bölgesi için karesel ortalama hata değeri  $m_0 = \pm 0.49 m$  olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar uzaktan algılama tekniği ile batimetrik harita üretiminde dip topografyasında ani eğim değişimlerinin sonuca olumsuz etki yaptığı yorumunu ortaya çıkarmıştır.

Her iki bölgede farklı tekniklerle üretilen nokta bulutlarının karşılaştırmak için ayrı ayrı korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısı a bölgesi için  $r_{xy} = 0.41$  olarak b bölgesi için ise  $r_{xy} = 0.54$  olarak belirlenmiştir. Korelasyon katsayılarına da bakıldığında daha düz bir dip topografyasına sahip b bölgesinde uzaktan algılama tekniği ile klasik batimetri ölçümlerinden elde edilen veriler daha korelasyonlu çıkmıştır. Bu sonuç “uzaktan algılama tekniği ile batimetrik harita üretiminde dip topografyasında ani eğim değişimlerinin sonuca olumsuz etki yaptığı” yorumunu desteklemektedir.

Çalışma alanının tamamı için İHO standartlarına göre hata hesaplaması yapılmış ve TVU değeri ortalama derinlik değerine göre  $\pm 0.28$  m olarak belirlenmiştir. Ölçü çiftlerinden hesaplanan karesel ortalama değerleri bu sınır değerinin üstünde kalmaktadır.

Bu çalışma sonucunda uzaktan algılama tekniği ile derinlik belirlemede dip topografyasındaki ani değişimlerin sonuçlara olumsuz etki yaptığı düşünülmektedir. Ayrıca çalışmada kullanılan uydu görüntülerinden daha iyi konumsal ve radyometrik çözünürlüğe sahip uydu görüntülerinin kullanıldığı zaman yöntemin daha başarılı sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bununla beraber, uzaktan algılama tekniği ile batimetrik harita üretiminde referans nokta olarak kullanılan iskandil verilerinin sık ve yüksek doğrulukla belirlenmesi sonuçlara olumlu yansıyacaktır.

Çalışmanın tüm sonuçları ele alındığında halen gelişmekte olan uzaktan algılama teknikleri ile batimetrik harita üretiminin yüksek doğruluk gereksinimleri olmayan, kesin projeden önceki ön keşif çalışmalarında kullanılabilmesi düşünülmektedir. Kesin proje üretimlerinde mutlaka klasik batimetrik gözlemlerin kullanılması önerilmektedir.



## KAYNAKLAR

- Akdeniz H ve Aksu O** (2004) 20. nci Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliđi Kongresinden İzlenimler, *Harita Dergisi*, Harita Genel Komutanlığı, 71 (132): 123.
- Altuntaş C ve Çorumluoğlu Ö** (2002) Uzaktan Algılama Görüntülerinde Digital Görüntü İşleme Ve Rısmage Yazılımı, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*, Konya.
- Aykut N O ve Alkan R M** (2016) Hidrografik Ölçme Standartlarına Genel Bir Bakış: Türkiye İçin Bazı Öneriler, *HKMO-Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 19-21 Ekim 2016.
- Baboo S and Devi M R** (2010) An Analysis of Different Resampling Methods in Coimbatore, District. *Global Journal of Computer Science and Tecnology*, 10 (15):61-66.
- Başaran E** (1981) *Frekans Karakteristiđi*, Ses Frekans Tekniği, Başaran E, Milli Eğitim Bakanlığı, 787.
- Bektaş S** (2002) *Dengeleme Hesabı*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Basımevi, Samsun, 164 s.
- Elac H** (1982) *An Introduction to Echo Sounding*, Kiel, Honeywell ELAC Nautik GmbH., 1982.
- Elhattab A** (2014) Single beam bathymetric data modelling techniques for accurate maintenance dredging, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 17. 10.1016/j.ejrs.2014.05.003. 2014.
- Georgiou S, Shepherd A, McMillan M and Nienow P** (2009) ASTER görüntülerinden buzul üstü göl hacminin mevsimsel gelişimi. *Glaciology Yıllıkları*, 50 (52):95-100.
- Green G, Schweik C M and Hanson M** (2000) *Radiometric calibration of LANDSAT multispectral scanner and thematic mapper images: guidelines for the global changes community, Working Paper*, Center for the Study of Institutions, Population and Environmental Change, Indiana University, Bloomington.
- Güngör B** (2019) Uydu Görüntüleri Yardımı İle Batimetrik Harita Üretimi: Kozlu Balıkçı Barınağı Örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 93 s.
- IHO** (2008) IHO Standards for Hydrographic Surveys, *5th edition Special Publication*, 44: 22-28.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

**Kaçmaz S E** (2005) Uydu Görüntüleri Yardımıyla Plaj Alanlarında Dane Çapının Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 79 s.

**Örgören H** (2011) Amasra Limanının Hidrografik Haritasının Hazırlanması ve İp İskandil İle GPS Sistemlerinin İrdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 83 s.

**Örmeci C** (1987) *Uzaktan Algılamanın Temelleri*, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

**Özgen G ve Algül E** (1977) *Mühendislik Ölçmeleri 1-Hidrografik Ölçmeler*, Teknik Üniversite Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.

**SHOD** (2004) *Seyir, Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı Tanıtım Kitapçığı*, İstanbul.

**Stumpf R P and Holderied K** (2003) Determination of Water Depth With High-Resolution Bottom Types. *Limnology and Oceanography*, 48 (1): 547-556.

**Theberge A E** (1989) Sounding pole to sea beam, in Paper Presented at the 1989 ASPRS/ACSM Annual Convention Surveying and Cartography, (Silver Spring, MD: NOAA Central Library), 334–346.

**URL- 1** <<https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrograph>> Ziyaret tarihi: 29.06.2019.

**URL- 2** <[http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/cografya\\_lisans\\_ao/hidrografya.pdf](http://auzefkitap.istanbul.edu.tr/kitap/cografya_lisans_ao/hidrografya.pdf)> Ziyaret tarihi: 03.09.2019.

**URL- 3** <[https://www.123rf.com/photo\\_14986674\\_old-illustration-of-brooke-sounding-apparatus-invented-by-john-mercero-brooke-for-sea-depth-measuring.html](https://www.123rf.com/photo_14986674_old-illustration-of-brooke-sounding-apparatus-invented-by-john-mercero-brooke-for-sea-depth-measuring.html)> Ziyaret tarihi: 18.06.2020.

**URL- 4** <<https://blog.nls.uk/plumbing-the-depths-the-challenge-of-measuring-sea-depth/>> Ziyaret tarihi: 09.06.2019.

**URL-5** <<https://docplayer.biz.tr/docs-images/65/54088718/images/26-0.jpg>> Ziyaret tarihi: 03.01. 2020.

**URL-6** <<https://slideplayer.biz.tr/slide/3007321/11/images/15/KLAS%C4%B0K+DER%C4%B0NL%C4%B0K+%C3%96L%C3%87ME+Y%C3%96NTEMLER%C4%B0.jpg>> Ziyaret tarihi: 08.05.2020.

**URL-7** <<https://docplayer.biz.tr/docs-images/65/54088718/images/27-0.jpg>> Ziyaret tarihi: 08.05. 2020.

**URL-8** <[https://lh3.googleusercontent.com/proxy/O4XR4s8N07uRtsH4GmujB6WkvhUa8HBOMYQGMsVIKflGEMN7fZFsWPbI9o3s1tCDqw-a5Tov-3T3Pcc5cW3GOP\\_2n47pYjreYIAGb2crNGr989Q6LCuD](https://lh3.googleusercontent.com/proxy/O4XR4s8N07uRtsH4GmujB6WkvhUa8HBOMYQGMsVIKflGEMN7fZFsWPbI9o3s1tCDqw-a5Tov-3T3Pcc5cW3GOP_2n47pYjreYIAGb2crNGr989Q6LCuD)> Ziyaret tarihi: 08.05.2020.

**URL- 9** <<https://gunesisigi.weebly.com/spektrum.html>> Ziyaret tarihi: 09.12.2019.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL- 10** <[http://www.nik.com.tr/content\\_sistem\\_uydu.asp?id=64](http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=64)> Ziyaret tarihi: 24.08.2020.
- URL- 11** <<https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/TEZ%20SUNUMLARI/Mesut%20Y%20C4%B1lmaz.pdf>> Ziyaret tarihi: 24.08.2020.
- URL- 12** <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/mission-objectives>> Ziyaret tarihi: 04.01.2020.
- URL- 13** <[http://www.nik.com.tr/content\\_sistem\\_uydu.asp?id=102](http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=102)> Ziyaret tarihi: 07.07. 2020.
- URL- 14** <<https://blog.esri.com.tr/2019/02/25/sentinel-2-uydu-goruntuleriyle-esri-sentinel-2-explorer-web-uygulamasi-araciligiyla-calismak/>> Ziyaret tarihi: 12.05.2020.
- URL- 15** <[http://www.nik.com.tr/content\\_sistem\\_uydu.asp?id=31](http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=31)> Ziyaret tarihi: 07.07.2020.
- URL- 16** <<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/>> Ziyaret tarihi: 12.06. 2019.
- URL- 17** <<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-3/>> Ziyaret tarihi: 29.06.2019.
- URL- 18** <[http://www.nik.com.tr/content\\_sistem\\_uydu.asp?id=22](http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=22)> Ziyaret tarihi: 07.07.2020.
- URL- 19** <<http://www.nik.com.tr/content/sistem/ikonos.jpg>> Ziyaret tarihi: 08.06.2020.
- URL- 20** <[http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani\\_4d6cb.pdf](http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_4d6cb.pdf)> Ziyaret tarihi: 13.06. 2020.
- URL- 21** <<http://www.sektorharita.com/landsat-8-uydusu-hakkinda-bilgiler.html>> Ziyaret tarihi: 29.06. 2020.
- Ünal Ş** (2019) Mühendislik Yapılarında Meydana Gelen Deformasyonların Hidrografik Ve Hava Fotogrametrisi Yöntemleri İle Modellenmesi: Eren Enerji Limanı Örneği, *Yüksek Lisans Tezi* Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 143 s.
- Vural E** (2008) Boğaziçi Sit Alanındaki Arazi Kullanımının Zamansal Değerlendirmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, İstanbul, Türkiye, 54 s.



## ÖZGEÇMİŞ

Anıl SAĞDIÇ 1989'da Ankara'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Ankara'da yaptı. Ön lisans eğitimini 2008-2010 yılları arasında Selçuk Üniversitesi Faik İçil Meslek Yüksek Okulunda Harita ve Kadastro Bölümünde, lisans eğitimini 2012-2015 yılları arasında Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Bölümünde tamamladı. 2017 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başlamış olup halen eğitime devam etmektedir.

### **İLETİŞİM BİLGİLERİ:**

E-posta: [anilsagdic@gmail.com](mailto:anilsagdic@gmail.com)