

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMI İLE BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ:
KOZLU BALIKÇI BARINAĞI ÖRNEĞİ

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BESTE KILIÇ GÜNGÖR

HAZİRAN 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMI İLE BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ:
KOZLU BALIKÇI BARINAĞI ÖRNEĞİ

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beste KILIÇ GÜNGÖR

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Eray KÖKSAL

ZONGULDAK

Haziran 2019

KABUL:

Beste KILIÇ GÜNGÖR tarafından hazırlanan “Uydu Görüntüleri Yardımı İle Batimetrik Harita Üretimi: Kozlu Balıkçı Barınağı Örneği” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle/oyçokluğuyla kabul edilmiştir. 28/06/2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Eray KÖKSAL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik
Mühendisliği Bölümü



Üye: Prof.Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik
Mühendisliği Bölümü



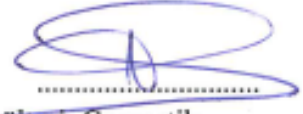
Üye: Prof. Dr. İsmail Hakkı ÖZÖLÇER

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü



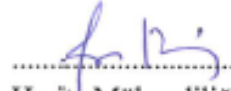
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik
Mühendisliği Bölümü



Üye: Doç. Dr. Füsun BALIK ŞANLI

Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

....../....../20....



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 bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Beste KILIÇ GÜNGÖR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMI İLE BATİMETRİK HARİTA ÜRETİMİ: KOZLU BALIKÇI BARINAĞI ÖRNEĞİ

Beste KILIÇ GÜNGÖR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Eray KÖKSAL

Haziran 2019, 93 Sayfa

Kıyı bölgeleri, dünyanın sürekli değişkenlik gösteren bölgelerindendir. Bu değişimlerin incelenmesi ve ölçülmesi, kıyı bölgelerinin, limanların, boru hatlarının ve diğer kritik altyapıların inşası için büyük öneme sahiptir. Bu çalışmalarda en önemli parametrelerden biri de su derinliği hakkında elde edilen bilgilerdir. Batimetri, deniz tabanının topoğrafyasını belirleme bilimi ve tekniği olarak tanımlanmaktadır. İnsanoğlu tarafından çok eski zamanlardan bu yana kullanılan batimetrik yöntemler, teknolojik gelişmelere paralel olarak gelişimini sürdürmektedir. İlk zamanlarda batimetrik veriler, klasik yöntemler ile elde edilirken daha sonraları bunların yerini Akustik İskandil, LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) Batimetri gibi modern yöntemler almıştır. Günümüzde ise bu yöntemlerin yanı sıra çeşitli algılayıcılara sahip uydular kullanılarak batimetrik verilerin elde edilmesi ve iyileştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Son zamanlarda hidrografik ölçme endüstrisinde yeni bir gelecek sunan SDB (Uydu Bazlı Batimetri), multispektral uydu görüntülerinden batimetrik veri elde eden bir tekniktir.

ÖZET (devam ediyor)

Bu tez çalışmasında, uydu görüntüleri kullanılarak batimetri verisi elde etmek ve doğruluğunu belirlemek amacıyla daha önce batimetrik verisi elde edilmiş bir alan üzerinde, LRT (Logaritmik Oran Dönüşümü) yöntemi ile batimetrik verilerin elde edilmesi ve üretilen bilgilerin yorumlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Zonguldak Kozlu Balıkçı Barınağı'na ait Landsat 8 uydu görüntüleri ENVI Classic uzaktan algılama yazılımı ile çeşitli band kombinasyonları kullanılarak işlenmiş ve sonuç olarak, bağıl (rölatif) ve mutlak su derinlikleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler, Zonguldak Kozlu Balıkçı Barınağı'nın mevcut batimetri verilerinden türetilen referans derinlik verileri ile karşılaştırılmış ve her bir band kombinasyonu için hata oranları belirlenmiştir. Tüm bölge için en düşük Karesel Ortalama Hatanın (KOH) değerini veren B1-B6, B2-B6 ve B2-B5 band kombinasyonları ayrıca model hataları açısından değerlendirilmiş ve $\pm 1.54\text{m}$ karesel ortalama hataya sahip B2-B5 band kombinasyonunun çalışma alanı en uygun değerlendirme olduğu sonucuna varılmıştır. Bu değerlendirmeden elde edilen veriler ile farklı yazılımlar kullanılarak, çalışma alanının batimetrik haritası üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batimetri, Uydu Görüntüleri, Akustik İskandil, LİDAR, Landsat, LRT

Bilim Kodu: 616.02.04

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

BATHYMETRIC MAP PRODUCTION BY USING SATELLITE IMAGERY: A CASE STUDY OF KOZLU FISHERY HARBOUR

Beste Kılıç GÜNGÖR

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

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Eray KÖKSAL

June 2019, 93 Pages

The coastal zones are one of the continually changing regions of the world. The examination and the measurement of these changes are very important for the construction of coastal areas, ports, pipelines and other critical infrastructures. One of the most important parameters in the related studies is the information obtained about the water depth. Bathymetry is defined as the study or technique of determining the topography of the seabed. The bathymetric methods used by human beings since ancient times continue to develop in parallel with technological developments. In the early times, while the bathymetric data were obtained by classical methods, they were later replaced with modern methods such as Echo Sounding and LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) Bathymetry. Nowadays, in addition to these methods, studies are carried out to obtain and improve the bathymetric data using satellites with various sensors. SDB (Satellite-derived Bathymetry), which has recently introduced a new future in the hydrographic surveying industry, is a technique that obtains bathymetric data from multispectral satellite images.

ABSTRACT (continued)

In this thesis, it is aimed to obtain bathymetry data using satellite images and determine the accuracy of these data by interpreting the results produced by LRT (Log Ratio Transformation) method on an area where bathymetry data were previously obtained. For this purpose, Landsat 8 satellite imagery of the Zonguldak Kozlu Fishing Shelter were processed using ENVI Classic remote sensing software by using various band combinations and filtering techniques and relative water depths were calculated. The obtained data were compared with the reference depth data derived from the current bathymetry data of Zonguldak Kozlu Fishing Shelter and error values were determined for each band combination. B1-B6, B2-B6 and B2-B5 band combinations, which give the lowest root mean square (RMS) error values for the whole region, were also evaluated in terms of model errors. It is concluded that the working area of the B2-B5 band combination with $\pm 1.54\text{m}$ root mean square error was the most appropriate evaluation. Bathymetric map of the study area was produced by using multiple modeling software with the data obtained from this evaluation.

Keywords: Bathymetry, Satellite Images, Echo Sounding, LIDAR, Landsat, LRT

Science Code: 616.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam; Dr. Öğr. Üyesi Eray KÖKSAL' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın ana fikrini veren Prof.Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU'na, kullandığım referans verilerini bizimle paylaşan Geometik Mühendisi Şevki ÜNAL'a ve çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan Ars. Gör. Can ATALAY'a teşekkür ederim.

Son olarak, çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan değerli arkadaşım Geomatik Yüksek Mühendisi Semra DİLEKÇİ, eşim Kayhan GÜNGÖR ve kardeşim Ozan KILIÇ'a; beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren annem İfaket KILIÇ'a ve babam Bekir KILIÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
CİZELGELER DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 ÇALIŞMANIN AMACI.....	2
1.2 ÇALIŞMANIN KAPSAMI	2
BÖLÜM 2 BATİMETRİ.....	7
2.1 TANIM	7
2.2 İSKANDİL (DERİNLİK ÖLÇÜMÜ)	7
2.2.1 Klasik Derinlik Ölçme (İskandil) Yöntemleri	8
2.2.2 Modern Derinlik Ölçme (İskandil) Yöntemleri	10
2.2.2.1 Akustik İskandil.....	10
2.2.2.2 Hava Lidar Batimetri (ALB)	20
2.2.2.3 Uydu Görüntüleri İle Batimetri	21
2.3 BATİMETRİK ÇALIŞMALARDA REFERANS YÜZEYİ	22
2.3.1 Ortalama Deniz Seviyesi ve Belirlenmesi	22
2.4 IHO STANDARTLARI	25
BÖLÜM 3 UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE YAPILAN BATİMETRİK ÇALIŞMALAR	27

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

3.1 FİZİKSEL ÇALIŞMA PRENSİBİ	28
3.2 IŞIK TEORİSİ	29
3.3 BATİMETRİK ÇALIŞMALARDA KULLANILAN UYDU SİSTEMLERİ	30
3.3.1 Landsat Uydu Sistemi	30
3.3.2 Ikonos Uydu Sistemi.....	34
3.3.3 Quickbird-2 Uydu Sistemi	35
3.3.4 WorldView-2 Uydu Sistemi	36
3.3.5. WorldView-3 Uydu Sistemi	37
3.3.6. Sentinel-2 Uydu Sistemi	38
3.4 UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN BAĞIL VE MUTLAK DERİNLİKLERİN ELDE EDİLMESİ.....	40
3.4.1 Veri Ön İşleme.....	40
3.4.1.1 Uydu Görüntüsündeki Spektral Bantların Birleştirilmesi	41
3.4.1.2 Dijital Numaraları Parlaklık Değerlerine Dönüştürme	42
3.4.1.3 Parlaklık Değerlerinin Yansıma Değerlerine Dönüştürme	42
3.4.2 Veri İşleme.....	44
3.4.2.1 Su Alanlarının Diğer Alanlardan Ayrılması (Su İndeksleri).....	44
3.4.2.2 Karayı ve Su olmayan Alanları Maskeleyme.....	46
3.4.2.3 Bağlı Su Derinliğinin Hesabı	47
3.4.2.4 Görüntü Filtreleme	49
3.4.2.5 Mutlak Derinlik Değerlerinin Hesaplanması	51
BÖLÜM 4 UYGULAMA	53
4.1 ÇALIŞMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ.....	53
4.2 MATERYALLER	55
4.2.1 Referans Model	55
4.2.2 Uydu Görüntüsü Seçimi.....	57
4.2.3 Yazılım Seçimi.....	57
4.3 YÖNTEM	58
4.3.1 Veri Ön İşleme.....	59

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.3.1.1 Uydu Görüntüsündeki Spektral Bantların Birleştirilmesi	59
4.3.2.2 Radyometrik Düzeltme	60
4.3.2 Veri İşleme.....	62
4.3.2.1 Kullanılan Görüntüler	63
4.3.2.2 Kullanılan Spektral Bandlar	63
4.3.2.3 Atmosferik Düzeltme	64
4.3.2.4 Derinlik Belirleme Algoritması Seçimi.....	65
4.3.2.5 Filtreleme Seçenekleri.....	66
4.3.2.6 Mutlak Derinlik Kalibrasyonu	66
4.3.2.7 Çalışma Alanının (ROI) Belirlenmesi.....	69
4.3.2.8 Nokta Koordinatlarının Elde Edilmesi	70
4.3.3 Veri Değerlendirme ve Analiz İşlemleri.....	71
4.3.3.1 Referans Model Üzerinden Gerçek Derinliklerin Hesabı	71
4.3.3.2 Gerçek Derinlikler ile Mutlak Derinlikleri Karşılaştırılması	72
4.3.3.3 Değerlendirmelerin Referans Model İle Uyumunun Görsel Analizi	76
4.3.3.4 Batimetrik Verilerin Doğruluk Analizi ve IHO Standartları.....	78
4.3.3.5 Uydu Görüntülerinde Üretilen Batimetrik Haritalar	80
 BÖLÜM 5 SONUÇLAR.....	 85
 KAYNAKLAR.....	 87
 ÖZGEÇMİŞ	 93



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Hidrografik ölçme standartları (IHO 1998).	25
Çizelge 3.1 Landsat 1-7 TM band özellikleri ve uygulamalar (Vural 2008).	31
Çizelge 3.2 Landsat 8'in band özellikleri (URL-9).	33
Çizelge 3.3 Ikonos uydusu band ve aralıkları (URL-14).	35
Çizelge 3.4 Quickbird ait Spektral Bandların Özellikleri (URL-15).	36
Çizelge 3.5 WorldView-2 uydusuna ait bandların özellikleri (URL-18).	37
Çizelge 3.6 WorldView-3 uydusuna ait bandların özellikleri (URL-19).	38
Çizelge 3.7 Sentinel-2 uydusuna ait bandların özellikleri (URL-22).	39
Çizelge 4.1 Landsat 8'in seçilen band özellikleri (URL-9).	59
Çizelge 4.2 Parlaklık ve yansıma değerlerinin hesaplanması için gerekli değerler.	61
Çizelge 4.3 Maskeleme ve logaritmik oran dönüşümü için band kombinasyonları.	64
Çizelge 4.4 Çalışma alanında seçilen mutlak derinlik noktaları.	67
Şekil 4.15 a) Lineer regresyon modeli, b) En küçük sapma modeli, c) En küçük kareler (polinomal) modeli.	68
Çizelge 4.5 Çalışma alanı çerçeve koordinatları (ROI).	69
Çizelge 4.6 Band kombinasyonlarının R-Square ve karesel ortalama hata değerleri.	73
Çizelge 4.7 Bölgelere göre hesaplanan KOH.	79



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Klasik iskandil yöntemleri (a. Lata İskandil, b. İp İskandil, c. Termometrik İskandil, d. Hidrostatik Basınçölçerler) (Elhassan 2015).	9
Şekil 2.2	Akustik derinlik ölçümünün temel prensibi (Aykut, 2009).	10
Şekil 2.3	Akustik iskandilin temel bileşenlerini ve işlem çevrimi (URL 5).	11
Şekil 2.4	Tek ışınlı akustik iskandil ölçüm alma düzeneği (Zirek 2017).	14
Şekil 2.5	Tek Işınlı Akustik İskandil İçin Konum Hatası (URL-4).	14
Şekil 2.6	Tek Işınlı Akustik İskandil Ölçümü (URL-4).	15
Şekil 2.7	Çok ışınlı akustik iskandil ışın düzeni (Zirek 2017).	15
Şekil 2.8	Frekanslara İlişkin Derinlik Değerleri (Zirek 2017).	16
Şekil 2.9	Su seviyesindeki düzensiz değişmelerin derinlik ölçümüne etkileri (Görmüş 2015).	18
Şekil 2.10	ALB sisteminin genel yapısı (Polat 2014).	20
Şekil 2.11	Elektromanyetik spektrum (URL-6).	22
Şekil 2.12	Gel-git seviyeleri arasındaki ilişki (Erkaya 1995).	23
Şekil 2.13	Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (Simav vd. 2011).	24
Şekil 2.14	TUDES veri akışı (Simav vd. 2011).	24
Şekil 3.1	Akustik İskandil, Lidar ve uydu görüntüleri arasındaki fark (Alsubaie 2012).	27
Şekil 3.2	Fiziksel prensip (Su vd. 2008).	29
Şekil 3.3	Uydu görüntüsünden derinlik belirlemesini etkileyen faktörler (Alsubaie 2012). ...	30
Şekil 3.4	Landsat 1-7 TM uydusu (URL-8).	31
Şekil 3.5	Landsat 8 uydusu (URL-11).	32
Şekil 3.6	Landsat 8 bandları dalga boyları grafiği (USGS 2016).	33
Şekil 3.7	İkonos uydusu (URL-13).	34
Şekil 3.8	Quickbird-2 uydusu (URL-15).	35
Şekil 3.9	WorldView-2 uydusu (URL-17).	36
Şekil 3.10	WorldView-3 uydusu (URL-20).	37
Şekil 3.11	Sentinel-2 uydularının konfigürasyonu (URL-23).	38
Şekil 3.12	İşlem adımları (Alsubaie 2012'den düzeltilerek)	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.13 a) En yakın komşuluk yöntemi, b) Bilineer enterpolasyon, c) Kübik katlama (Baboo ve Devi 2010).....	42
Şekil 3.14 a) Normal görüntü, b) NDWI görüntüsü, c) MNDWI görüntüsü	46
Şekil 3.15 a) Oluşturulan maske, b) Maske uygulanmış su indeksi görüntüsü	47
Şekil 3.16 Farklı boyutlu medyan filtre uygulamaları. a) Orijinal görüntü, ...	51
Şekil 3.17 Regresyon modeli uyum çizimi.	52
Şekil 4.1 Kozlu Balıkçı Barınağı.	53
Şekil 4.2 Kozlu Balıkçı Barınağı elemanları.	54
Şekil 4.3 Kozlu Balıkçı Barınağı güncel durum (fırtına sonrası).	55
Şekil 4.4 SOUTH SDE-28D akustik iskandil cihazı (URL-28).....	56
Şekil 4.5 a)Akustik iskandil ile elde edilen batimetrik model, b) Akustik iskandil ile elde edilen batimetrik harita	56
Şekil 4.6 a) Düzeltilmiş batimetrik model, b)Düzeltilmiş batimetrik harita.....	57
Şekil 4.7 Landsat 8 uydu bandlarının birleştirilmiş ve yeniden örneklenmiş görüntüsü, a) En yakın komşuluk, b) Bilineer enterpolasyon, c)Kübik katlama.	60
Şekil 4.8 Radyometrik düzeltme getirilmiş görüntüler. a) En yakın komşuluk, b) Bilineer enterpolasyon, c)Kübik katlama	61
Şekil 4.9 Relative water depth (Bağıl Su Derinliği) aracı.....	62
Şekil 4.10 Değerlendirmede kullanılan; a) Tüm çerçeve görüntü, b) Kesilmiş görüntü	63
Şekil 4.11 a) Orijinal görüntü, b) MNDWI görüntüsü, c) Kullanılan maske, d) Maskelenmiş MNDWI görüntüsü.....	64
Şekil 4.12 a) LTR yöntemi, b) Asıl bileşenler yöntemi, c) Bağımsız bileşenler yöntemi.	65
Şekil 4.13 a) 3x3 medyan filtre uygulanmış görüntü, b) 5x5 medyan filtre uygulanmış görüntü.....	66
Şekil 4.14 Seçilen mutlak derinlik noktalarının çalışma alanındaki dağılımı.....	67
Şekil 4.16 Mutlak derinlik görüntüsü.	69
Şekil 4.17 ROI alanı ve kesilmiş mutlak derinlik görüntüsü.	70
Şekil 4.18 Çalışma alanının gridlenmiş hali.	70
Şekil 4.19 Gerçek derinliklerin referans modelden elde edilmesi.	71
Şekil 4.20 Değerlendirmelerin çalışma alanındaki genel görüntüleri, a) B1-B6, b)B2-B6, c)B2-B5.....	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4.21 Surfer 15 yazılımında sayısal yükseklik modelleri, a)Referans model, b) B1-B6 modeli, c) B2-B6 modeli, d) B2-B5 modeli.	76
Şekil 4.22 Değerlendirmelerin model fark görüntüleri, a) B1-B6 modeli, b) B2-B6 modeli, c) B2-B5 modeli	77
Şekil 4.23 Kozlu balıkçı barınağının bölgelere ayrılmış durumu.	79
Şekil 4.24 Surfer 15 programında üretilen Kozlu Balıkçı Barınağı batimetrik haritası.	81
Şekil 4.25 NetCAD 7.7 programında üretilen Kozlu Balıkçı Barınağı batimetrik haritası.	81
Şekil 4.26 Kozlu Balıkçı Barınağı girişindeki taş kütlesi ve koordinatları.....	82
Şekil 4.27 Barınak girişinde bulunan taş kütlesi modele eklenerek Surfer 15 programında üretilen Kozlu Balıkçı Barınağı batimetrik haritası.	83
Şekil 4.28 Barınak girişinde bulunan taş kütlesi modele eklenerek NetCAD 7.7 programında üretilen Kozlu Balıkçı Barınağı batimetrik haritası.	83



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$\pm$	: Artı eksi
μ	: Mikron
λ	: Landa
∞	: Sonsuz
Π	: Pi Sayısı
ρ	: Ro
Δ	: Delta

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ALB	: Airborne LİDAR Bathymetry/Hava Kaynaklı LIDAR Batimetri
DN	: Dijital Number/Dijital Numara
ESA	: European Space Agency/Avrupa Uzay Ajansı
IHO	: International Hydrographic Organization/Uluslararası Hidrografi Örgütü
KOH	: Karesel Ortalama Hata
LLT	: Log Linear Transformations/Logaritmik Doğrusal Dönüşüm
LRT	: Log Ratio Transformations/ Logaritmik Oran Dönüşümü
LIDAR	: Laser Imaging Detection and Ranging
MNDWI	: Modified Normalized Difference Water Index
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NDWI	: Normalized Difference Water Index / Normalleştirilmiş Fark Su Endeksi
NIR	: Near İnfrared / Yakın Kızılötesi
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
OLI	: Operational Land Imager
RMSE	: Root Moon Square Error

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

ROI	: Region Of Interest/ İlgilenilen Bölge
NDWI	: Normalized Difference Water Index / Normalleştirilmiş Fark Su Endeksi
NIR	: Near İnfrared / Yakın Kızılötesi
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
OLI	: Operational Land Imager
RMSE	: Root Moon Square Error
ROI	: Region Of Interest/ İlgilenilen Bölge
SBES	: Single Beam EchoSounder /Tek Işınlı Echosounder Sistemi
SDB	: Satellite Derived Bathymetry / Uydu Bazlı Batimetri
SWIR	: Short-wave infrared /Kısa Dalga Kızılötesi
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TIRS	: Thermal İnfrared Sensor
TM	: Thematic Mapper
TUDES	: Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi
UA	: Uzaktan Algılama
USGS	: United States Geological Survey

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünyamızın yaklaşık dörtte üçü sularla kaplıdır. Ülkemiz ise, üç tarafı denizlerle çevrili binlerce kilometre uzunluğunda kıyıları olan körfez, göl, gölet ve baraj gibi su toplama alanları bulunan nadir ülkelerdendir (Uçar ve Torun 2010). Bununla beraber ülkemizin, yarı kurak iklim kuşağında yer alması, artan nüfus ve yükselen hayat standardı nedeniyle su tüketiminin artması ve çevresel kirleticilerin çoğalması mevcut su kaynaklarımızın daha etkin ve daha dikkatli kullanımını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, kıyıların korunması, kirliliğin önlenmesi, kaynakların yeterince koruma altına alınması ve boşa akan suların mümkün olduğunca baraj gibi ortamlarda biriktirilmesi önemli konulardandır (URL-1).

Hidrografi, başta navigasyon ve mühendislik uygulamaları olmak üzere, açık deniz faaliyetleri, araştırma, çevre koruma gibi amaçlar için sularla kaplı alanların ölçülmesi ve kıyıların belirlenmesi anlamına gelen bir bilim dalıdır (IHO 2007). Kıyı alanlarımızdan daha verimli faydalanmak amacıyla limanların planlanması, kıyı erozyonunun önlenmesi, kıyıların, limanların ve balıkçı barınaklarının kumlanmaya karşı korunması gibi çalışmalarda hidrografik ölçmelere gereksinim duyulmaktadır (Aykut 2009).

Hidrografik ölçmelerde derinlik anlamına gelen Batimetri, deniz tabanının topoğrafyasını belirlemek için kullanılan bir ölçme tekniğidir. Batimetri verileri seyir çizelgeleri, deniz tabanı profili, oşinografi, kıyı erozyonu, deniz seviyesinin yükselmesi vb. konulardaki çalışmalar için kullanılır (Jagalingam vd. 2015).

İnsanlar her zaman denizin altındaki toprakları merak etmişlerdir. Denizciler, özellikle kıyı şeridindeki ve limanların yakınındaki derinliği bilmek istemişlerdir. Bilim insanları, gezegenin yüzeyini, yapısını ve şeklini öğrenmek için denizlerin batimetri haritalarını yapmışlardır. Deniz yüzeyinin topoğrafyasını tanımlamak için dikey mesafe ölçülmesi gerektiğinden, derinlikleri bir ipin ucuna takılan ağırlıkla ya da uzun tahtalar ile ölçmüşler

ancak sığ sularla sınırlı kalmışlardır. İkinci Dünya Savaşı sırasındaki düşman denizaltılarını tespit etmek için sinyallerin bulunması batimetri için çok önemli bir adım olmuştur (Germen 1994).

1.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Bu tez çalışmasının temel amacı; uydu görüntüleri kullanılarak Zonguldak Kozlu Limanının batimetri haritasını üretmektir. Bu amaçla Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) web sitesinden Landsat 8 uydu görüntüleri indirilmiştir (URL-2).

Ayrıca çalışmanın temel amacına ek olarak alt amaçları aşağıda belirtilmiştir.

- Sualtı topoğrafyasının izlenmesi, biriken tortulların hareketi, deniz navigasyon için deniz haritaları üretimi gibi alanlarda SDB'nin avantajlarını ortaya koymak,
- Uzaktan algılama uydu görüntülerinin başta Batimetrik uygulamaları olmak üzere birçok alanda sağladığı imkanları açıklamak.

1.2 ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde yıllar önce başlayan batimetri araştırmaları yüksek çözünürlüklü multispektral uydu görüntüleri ile hızla gelişmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Lyzenga (1978; 1981; 1985), tek ve iki (veya çoklu) spektral bant için bir batimetrik model elde etmiştir (Su vd. 2008).

Stumpf vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada, çalışma alanı olarak ABD'de yer alan Kuzeybatı Hawaii Adaları seçilmiştir. Çalışmanın başlıca amacı pasif sensörlerden gelen temiz sudaki derinliği belirlemektir. Su derinliğini belirlemek için kullanılan beş parametrenin ayarlanması ve su tabanının düşük bir yansıtma gücü içerdiği derinliklerin ölçülememesi gibi sorunların olduğu görülmüştür. Bu sorunları gidermek için iki ayarlanabilir parametreye sahip ve düşük yansıtma gücüne sahip özelliklere uygulanabilen yansıma oranlarını kullanarak ampirik bir çözüm geliştirilmiştir.

Su vd. (2008) yaptıkları çalışmalarında, önceden yapılan çalışmaların çoğunda çoklu spektral görüntüleri batimetrik verilere çevirmek için LLT modeli kullanıldığını düşünerek IKONOS multispektral görüntüleriyle doğrusal olmayan model için parametreleri kalibre ederek otomatik bir yöntem geliştirmişlerdir. Modellerinden elde edilen derinlik verilerini klasik LLT modeli kullanılarak tahmin edilenlerle karşılaştırmışlardır. Doğrusal olmayan modelden türetilen batimetrik veriler, genel performansları çok benzer olmasına rağmen, özellikle derin su alanları (deniz, göl vb.) için, logaritmik doğrusal modelden üretilenlere göre biraz daha doğru ve kararlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Deidda ve Sanna (2012) tarafından yapılan çalışmada çalışma alanı olarak İtalya'nın Poetto plajı seçilmiştir. WorldView-2 uydusunun 17 Haziran 2011 tarihinde alınan görüntülerle mavi band yerine kıyı bandını kullanmayı tercih ederek batimetrik değerleri elde etmeye çalışmışlardır. 5419 adet görüntü deniz dibi sınıflarını ayırmak için önceden işlenmiş olup, 1,5 metreye kadar batimetrik araştırma yapmışlardır. Her görüntü için 10 kalibrasyon alanı seçilmiş ve her biri için deniz tabanının dijital bir modeli üretilmiştir. Yöntemin kesinliği ve doğruluğu, stereo çiftlerden elde edilen sonuçlar analiz edilerek ve aynı alandan hesaplanan farklı modeller arasında farklı kalibrasyon alanları kullanılarak hesaplanan derinlik değerleri arasındaki korelasyon incelenerek değerlendirilmiştir. Sonuçların yaklaşık 0,6 m'lik bir hassasiyetle çakıştığını bulmuşlardır.

Jaganilgam vd. (2015) yaptıkları çalışmalarında, LRT algoritmasını mavi ve yeşil bandlara uygulayarak Landsat 8 uydu görüntüleriyle, Hindistan'ın güneybatı kıyılarının ($13^{\circ} 0' 0''$ N ve $74^{\circ} 50' 0''$ E) batimetri haritasını belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak, algoritma ile üretilen veri ile hidrografik iskandil verisi değeri arasında iyi bir ilişki olduğu görülmüştür.

Said vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, çalışma alanı olarak Malezya seçilmiştir. Tropik çevre ortamına yönelik uydu görüntüleri kullanılarak yapılan batimetrimin doğruluk seviyesi ve uygulanabilirliği konusundaki bulgular tartışılmıştır. Çalışma alanının doğası nispeten sığ su derinlikleri olduğundan yöntem olarak SBES (Tek Işınlı Echosounder Sistemi) kullanılmış olup hidrografik ölçme çalışmalarına 30 Kasım 2016 tarihlerinde başlanmıştır. Batimetri verilerini uydu görüntülerinden elde etmek için geliştirilen ve popüler olarak kullanılan iki algoritma modeli olan Stumpf ve Lyzenga'nın algoritmalarını benimsemiştir. Buna rağmen, yeni bir algoritmanın geliştirilemediği, kalibrasyon aşaması ile yeni iyileştirme yapıldığı ve bu geliştirmeye en uygun doğrusal türev modelini oluşturmak için Karesel Ortalama Hata'nın hesaplanması gerektiği tespit edilmiştir. Her iki model tarafından üretilen SDB verilerinin

SBES tarafından elde edilen gerçek batimetri verileriyle karşılaştırılarak, hassasiyetin değerlendirilmesi yapılmıştır. Genel olarak, her iki algoritma modelinin de başarılı sonuçlara ulaştığı tespit edilmiştir. Stumpf algoritması Lyzenga modeline oranla biraz kaba sonuçlar içerse de basit ve anlaşılırdır. Bununla birlikte Lyzenga algoritması, çoklu regresyon yöntemlerini uyguladığı için daha fazla tercih edilir.

Smith vd. (2017) yaptıkları çalışmalarında Log Linear Transformations (LLT) (Lyzenga vd. 1978) ve Log Ratio Transformations (LRT) (Stumpf vd. 2003) yöntemlerini karşılaştırmış ve sığ sularda LRT yönteminin daha başarılı sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Akgl vd. (2018) yaptıkları çalışmada, Stumpf vd.(2003) tarafından açıklandığı şekilde Log Ratio Transformation (LRT) yöntemi kullanılarak Seyhan Baraj Glnn su derinliğinin ve dolayısı ile batimetrik kotları tespit etmeye çalışmışlardır. Su derinliğinin kalibrasyonu için 17 adet nokta kullanılmış olup bu noktaların derinlikleri 2005 yılında yapılmış Seyhan Baraj Gölü batimetrik haritasından noktalar arası 2 m derinlik farkı olacak şekilde seçilmiştir. Landsat 8 uydusuna ait 2017 yılı içerisinde bulutsuzluk durumu dikkate alınarak 8 adet görüntü seçilerek analiz edilmiştir. Analizler sonucunda ise ortalama batimetrik kotlar ile gerçek batimetrik kotlar arasındaki Karesel Ortalama Hatası (KOH) ise $\pm 2,78$ m olarak bulmuşlardır.

Bu alışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, hidrografik ölçmeler ile ilgili genel tanımlamalar yapılarak, çalışmanın amacı ve bu çalışma kapsamında yapılanlar kısaca açıklanmıştır. İkinci bölümde derinlik lme yöntemleri sınıflandırılarak ses hızının hesaplanması konusunda ayrıntılı açıklamalar yapılmıştır. Ayrıca klasik ve modern lme yöntemleri, bu yöntemler ile toplanan verilerin analizi ile kalite kontrol yöntemleri anlatılmıştır. Hidrografik lmelerde lme teknesi ile nasıl derinlik ölümü yapılacağı şekiller yardımıyla açıklanmıştır. nc bölümde uydu görüntüleri ile yapılan batimetrik çalışmalar hakkında ayrıntılı bilgiler verilerek batimetri yapılan uydu ve özellikleri anlatılmıştır. Dördüncü bölüm uygulama bölümüdür. Bu bölümde uygulamalarda kullanılan alet ve donanımlar hakkında bilgiler verilmiştir. Landsat 8 uydu görüntü verileri için piksel Dijital Numaraları (DN) parlaklık değerlerine, parlaklık değerleri de yansıma değerlerine dönüştürülmüştür. Su ayırma ve maskeleyme işlemlerinin ardından görüntü filtrelenmiştir Bu şekilde bağlı su derinliği hesaplanmış ve hatalı ölçüler temizlenmiştir.

Hesaplanan bağıl derinlikler ile mutlak derinlik verileri karşılaştırılarak derinlik farkları belirlenmiştir. Karesel ortalama hata (KOH) hesaplanmış, hesaplanan bağıl derinliklerin IHO standartlarına göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Bağıl ve mutlak derinliklerin yüzey modellerini karşılaştırmak için ve hangi derinliklerde ne kadar hata olduğunu görebilmek amacıyla çeşitli model karşılaştırma ve istatistiksel analizi gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde ise sonuçlar ve öneriler yer almaktadır.





BÖLÜM 2

BATİMETRİ

2.1 TANIM

Yunanca Bathus (İngilizce Deep) ve Metron (Measure) kelimelerinin birleşiminden türemiş olan Batimetri kelimesi, derinliklerin ölçülmesi anlamına gelir (URL-3). Batimetri, su kütlelerinin (denizler, nehirler, okyanuslar vb.) sualtı derinliğini ölçme bilimidir. Deniz tabanının haritalandırılması binlerce yıldır bilinmektedir. Gemilerin güvenli navigasyonu, deniz tabanının derinliğinin haritalandırılması batimetrisinin ana nedenleri arasında yer alır (Alsubaie 2012).

Batimetri verileri, yıl boyunca navigasyon, kanal derinliğini korumak, sualtı topografyası, sedimentlerin seviyesini tahmin etmek ve hareketini belirlemek, güvenli ulaşım için çok önemlidir. İlk batimetri çalışmalarında, önceden uzunluğu ölçülmüş iplerle ve kaplanmış uzunluk kablolarıyla geminin yan tarafından denizin içine yerleştirilerek klasik ölçümler yapılmıştır. Bu yöntemle zaman içinde tek bir noktanın derinliği alınabildiğinden zaman alıcı ve zorlayıcıdır. Bu sınırlamaları ortadan kaldırmak için, yöntem hızla akustik iskandil tekniği ile yapılan çalışmalara yönelmiştir (Jagalingam vd. 2015).

Uzaktan algılama, kapsama alanını genişliği, düşük maliyeti ve tekrarlanabilirliği nedeniyle su alanlarındaki batimetrik çalışmalar için umut verici alternatif araçlardan biri olarak kabul edilebilir. Son yıllarda, QuickBird ve Worldview-2-3, Sentinel-2 gibi uzaktan algılama uydularının başarılı bir şekilde piyasaya sürülmesi ile birlikte, hem yüksek konumsal hem de spektral çözünürlüğe sahip görüntüler sunmaktadır (Jagalingam vd. 2015).

2.2 İSKANDİL (DERİNLİK ÖLÇÜMÜ)

Deniz, göl, akarsu vb. alanlarda, sualtı tabanının topoğrafyasını belirlemek için su yüzeyine dik doğrultuda yapılan derinlik ölçmelerine iskandil, derinlik ölçmesinin yapıldığı noktaya da

iskandil noktası adı verilir. Ölçme işlemi, sualtı tabanını görülemediğinden genellikle belirli aralıklarla önceden saptanan doğrultular üzerinden yapılır. Ölçü sonucu belirlenen derinlik değerleri, ölçü anındaki su seviyesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle ölçülen derinlik bilgilerine, kullanılan yöntem, su ortamına ve kullanılan alete bağlı olarak düzeltmeler getirilir ve ardından ortak bir su seviyesine indirgenir (Ekizoğlu 2011).

Liman, tüp geçit, sualtı teknik altyapıları, deniz taşıtlarının güvenli seyri ve dere ıslah projeleri gibi çalışmalara altlık sağlamak amacı ile deniz, göl, gölet, baraj, dere gibi sularla kaplı alanlarda su altı topoğrafyasının belirlenip derinlik haritalarının hazırlanması batimetrik çalışmalarla yapılmaktadır (Başer vd. 2011).

Bu çalışmalarda derinlik ölçmeleri lata iskandil, ip iskandil ve tel iskandil, hidrostatik iskandil, termometrik iskandil gibi Klasik Ölçme Yöntemleri veya akustik iskandil ve Lidar iskandil ve uydu görüntüleri ile batimetri gibi Modern Ölçme Yöntemleri kullanılarak iki farklı şekilde elde edilebilmektedir. Ancak günümüzde, klasik ölçme yöntemleri sadece kısıtlı alanlarda kullanılırken modern ölçme yöntemleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır (URL-3).

2.2.1 Klasik Derinlik Ölçme (İskandil) Yöntemleri

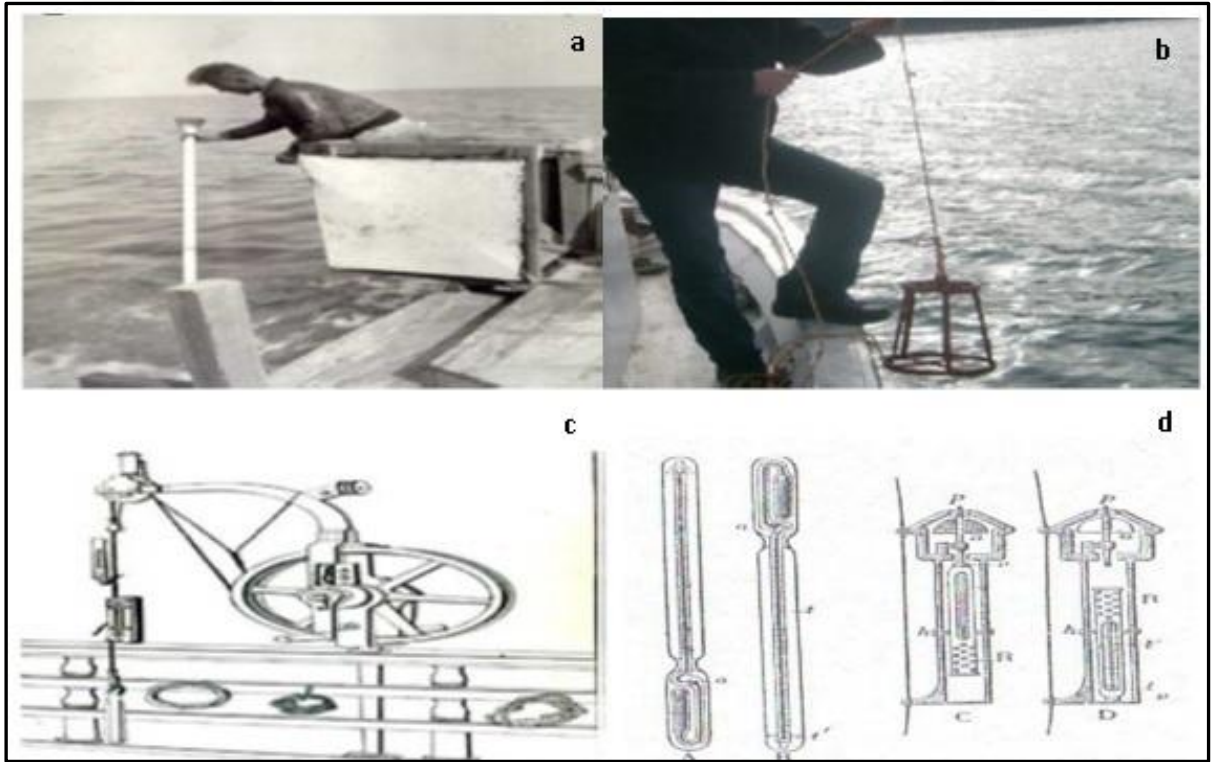
Klasik derinlik ölçme yöntemleri lata iskandil, ip iskandil ve tel iskandil, hidrostatik iskandil ve termometrik iskandil olarak beşe ayrılır (Ekizoğlu 2011). Bu yöntemde derinlik ölçme aletleri ile mümkün olduğu kadar düşey doğrultuda ölçüm yapılması gerekmektedir (Çelikkıran 2009).

Lata iskandil, 4-6 m arasında, 5-7 cm çapında ahşap ya da hafif metalden yapılmış daire veya çokgen kesitli özel çubuklardan oluşmaktadır. Bu çubuklar metre ve desimetre olarak bölümlendirilerek okuma için özel olarak renklendirilmiştir. İp iskandil ile ölçüm yapılırken düşey doğrultuyu sağlaması için ipin ucuna 2.5 kg ile 10 kg arasında değişen metal ağırlıklar takılır (Ekizoğlu 2011). Derinliği 30 metreyi geçmeyen her su ortamında uygulabilen bu yöntemin presizyonu ortalama ± 10 cm dir.

Tel iskandil, yüksek galvanizli çelikten yapılmış olup 1-1.5 mm çapında paslanmaz tellerden oluşmaktadır. Alet üzerindeki derinlik sayacı yardımıyla sağılan tel uzunluğunu ± 1 cm presizyon ile okumak mümkündür (Örgören 2011).

Bir diğerklasik ölçme yöntemi olan hidrostatik iskandil, sualtı tabanında ölçülen hidrostatik basınç yardımıyla derinliğin belirlenmesini sağlar. Hidrostatik iskandilde, iskandil aleti olarak hidrostatik basınçölçerler kullanılır (Ekizoğlu 2011). Ortalama presizyonu $\pm 5\text{m}$ olup derinlik doğrudan ölçülmediğinden basınç değerinin derinliğe dönüştürülmesi hesapla veya hazır çizelgeler ile yapılır (Örgören 2011).

Termometrik iskandil yöntemi ise, sualtı tabanında aynı noktada sıcaklık ve basınç ölçmek amacıyla derinliğin bulunması prensibine göre çalışır. Termometrik iskandil aleti bir plaka üzerinde iki adi termometre kullanılarak oluşturulur. Bu yöntem 1000m ve daha derinlerde uygulanabilir ve presizyonu $\pm 0,005H \text{ m'}$ dir (Ekizoğlu 2011).



Şekil 2.1 Klasik iskandil yöntemleri (a. Lata İskandil, b. İp İskandil, c. Termometrik İskandil, d. Hidrostatik Basınçölçerler) (Elhassan 2015).

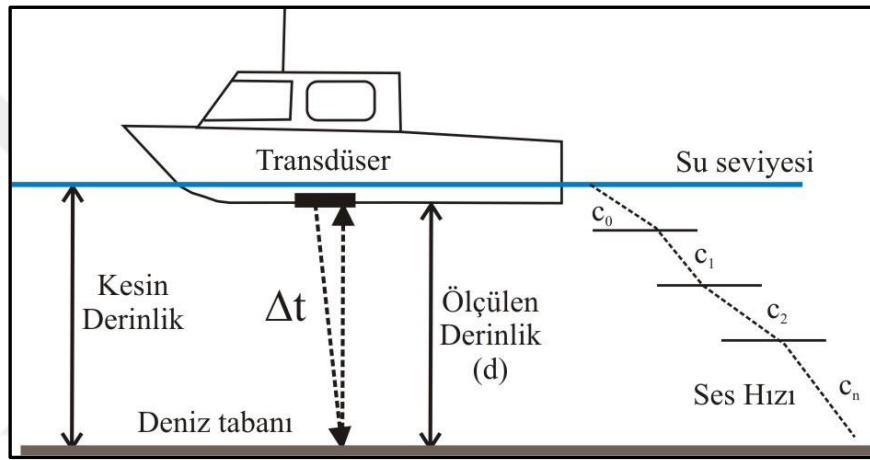
Yukarıda bahsedilen yöntemler, çok eskiden beri kullanılan ve halen geçerliliğini koruyan yöntemlerdir(Şekil 2.1). Ancak bu yöntemler, hareketli bir platform üzerinden salınacak olan iskandilin fiziksel güç, hava ve su koşullarının çalışmayı zorlaştırması nedeniyle uygulamaları pek pratik değildir. Ayrıca yatayda konumsal veri ile beraber ilişkilendirilmesi sırasında çok fazla kaba hatalara neden olmaktadır. Bu nedenle günümüzde sadece, akustik iskandil

kullanımının mümkün olmadığı alanlardaki batimetrik çalışmalarda veya akustik iskandil ile yapılan çalışmalarda, ölçü alınamayan yerlerin batimetrik ölçülerini almak için tamamlayıcı yöntemler olarak kullanılmaktadır(URL-4).

2.2.2 Modern Derinlik Ölçme (İskandil) Yöntemleri

2.2.2.1 Akustik İskandil

Ses dalgalarının su içinde yayılma ve yansıma özelliklerinden yararlanılarak derinliklerin ölçülmesi prensibine dayanan işleme akustik iskandil yöntemi adı verilir (Örgören 2011).



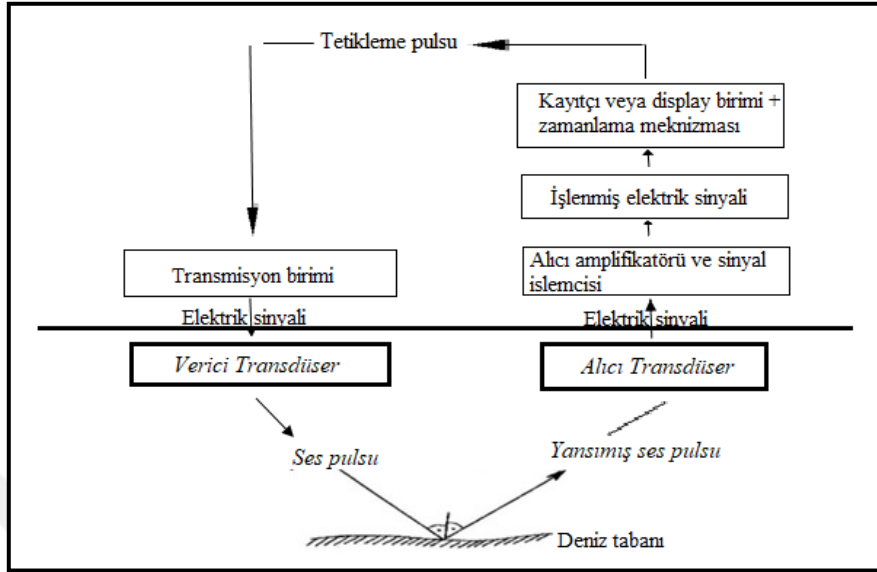
Şekil 2.2 Akustik derinlik ölçümünün temel prensibi (Aykut, 2009).

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi ses dalgalarının su içinde yayılma hızı c bilindiğinden, gönderilen ve alınan akustik sinyaller arasındaki zaman Δt ölçülerek, su derinliği H , (2.1) bağıntısıyla hesaplanmaktadır (Germen 1994).

$$H = \frac{\Delta t \cdot V}{2} \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)’de de görüleceği üzere akustik yöntemle derinlik ölçümündeki ana faktör ses dalgalarının su içindeki yayılma hızıdır. Su ortamı değişken bir yapıya sahip olduğu için ses hızının belirlenmesi de bazı faktörlerden etkilenmektedir. Bu nedenlerden dolayı su ortamında ses hızının yüksek doğruluklu olarak belirlenmesi gerekmektedir (Aykut, 2009).

Şekil 2.3'den de anlaşılacağı gibi bir akustik iskandil aleti, gönderici-alıcı ünitesi ve kontrol-kayıt ünitesi olarak iki ana üiteden oluşmaktadır (URL 5).



Şekil 2.3 Akustik iskandilin temel bileşenlerini ve işlem çevrimi (URL 5).

Gönderici-Alıcı Ünite (Transdüser): Aynı özellikte iki ses üreticiden oluşan bu ünite, su içinde gönderici ve alıcı olarak çalışır. Bu iki ses üretici, kullanım amacına göre bir koruyucu içinde yan yana veya hidrografi taşıtının sağ ve sol taraflarında olmak üzere ayrı ayrı yerlere tespit edilebilir. Gönderici durumundaki ses üretici (transmitter), suya belirli frekanslarla ses impulsları verirken, dalgalar halinde yayılan ve sualtı tabanından yansarak geri dönen impulslar alıcı durumundaki üreteç tarafından algılanır.

Kontrol-Kayıt Ünitesi (Ekograf): Kontrol ünitesinde, suya verilen ses impulsları ile geri dönen ve belirli oranda kuvvetlendirilen impulslar karşılaştırılır. İmpulsların t seyir süresi, bu karşılaştırma sonucu elektronik olarak belirlenir. Kontrol ünitesi belirli bir ses hızı değerine ayarlanmış olduğu için sonuç, Denklem (2.1) eşitliğine uygun olarak ya bir ışıklı göstergeye aktarılabilir veya mekanik enerjiye dönüştürülerek kayıt ünitesinde bulunan çizici bir uca iletilebilir. Çizici uç, kontrol ünitesinin elektriksel uyarılarına göre özel kayıt kâğıdı üzerine belirli bir ölçekte derinlikleri işaretler. Kayıt kâğıdı belirli bir hızda hareket ettirilebilir. Bu yüzden ünitelerin sürekli çalıştırılması ve hidrografi taşıtının hareketli olması halinde, sualtı tabanının sürekli bir profili elde edilir. Hidrografi taşıtlarında genellikle gönderici-alıcı ünite taşıtın kenarlarına, kontrol-kayıt ünitesi de ölçme odasına sabit olarak monte edilir.

Kayıt Kağıtları: Kullanılan kayıt kâğıtları, aletin yapısına göre 180 - 210 mm genişliğinde ve özel yapısı olan rulo halindeki kâğıtlardır. Derinlik kayıtları 1946'ya kadar mürekkepli çizici bir uç ile yapılırdı. Daha sonraları elektrik akımı ile kararan grafit karışımlı özel karbon kâğıtlar kullanılmaya başlandı. Sürekli derinlik işaretlemesine imkân sağlayabilmek için kayıt kâğıdı, iki makara arasında belirli ve bilinen bir hızla hareket eder. Bazı aletlerde eşit zaman aralıklarında kâğıt üzerine boydan boya düşey bir çizgi çizdiren otomatik zaman sayaçları bulunmaktadır. Bu sayaçlar yardımıyla, kâğıdın ilerleme hızı kontrol edilebilir.

Bir Akustik İskandil uygulamasının işlem adımları aşağıdaki gibi gerçekleştirilir (Erkaya 1995).

a) Aletin Yerleştirilmesi

Akustik iskandil aletinın gönderici-alıcı ünitesi her zaman suyun içinde bulunur. Hidrografi taşıtlarında kullanılan akustik iskandil aletlerinin gönderici ve alıcı üreteçleri genellikle yan yana getirilerek tek bir ünite (transdüser) içinde toplanmıştır. Transdüser, bir askı borusu yardımıyla botun kenarından ya da önünden suya indirilerek 0.75 - 1.50 m derinliğe düşey konumda yerleştirilir. Kontrol - kayıt ünitesi, taşıtın içinde herhangi bir yere yerleştirilebilir. Hidrografi taşıtlarında genellikle sabit konumlu akustik aletler kullanılır. Ayrıca bunlarda gönderici ve alıcı ses üreteçleri farklı yerlere, özellikle geminin sol ve sağ kenarlarına sağlam biçimde tespit edilir. Kontrol-kayıt ünitesi ise ölçme kamarasında bulunur. Ünitelerin birbirleriyle ve enerji kaynağı ile bağlantıları özel kablolar yardımıyla sağlanır.

b) Aletin Kontrolü ve Düzenlenmesi

Akustik iskandil aletlerinin genel kontrolü, genellikle derinliği ve içindeki suyun yoğunluğu bilinen havuzlarda yapılır. Bunun dışında, alet her çalışma ortamında kontrol edilir ve gerektiği durumda ortamdaki fiziksel koşullara göre düzenlenir. Çünkü aletin kalibre edildiği ses hızı ile çalışılan ortamdaki koşullara uygun ses hızı arasında önemli farklılıklar bulunabilir. Akustik aletlerin arazide kontrol ve düzenlenmesi için iki yöntem kullanılabilir (URL 5).

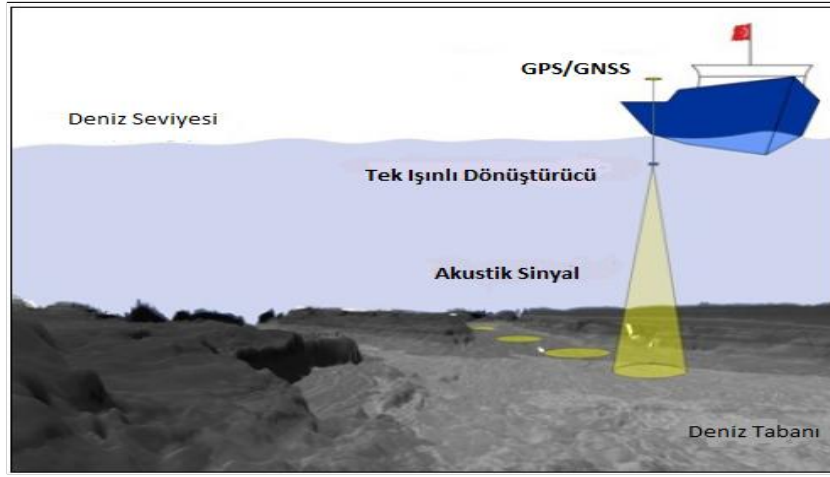
Teorik Yöntem: Akustik iskandil aletleri genelde belirli bir ses hızı değerine kalibre edilmişlerdir. Bu yöntemde, çalışılan ortamdaki suyun fiziksel verileri saptanır ve ortam için

geçerli ses hızı bulunur böylece alet bu ses hızı değerlerine ayarlanır. Fakat çalışma ortamının her yerinde aynı fiziksel koşullar olamayacağı için, bu hız ortamın değişik yerlerinde ölçülen sıcaklık, tuzluluk ve derinlik değerlerine göre bulunmuş ortalama bir ses hızı değeridir. Bu yöntemde, su ortamının farklı yerlerinde sıcaklık ve tuzluluk değerinin ölçülmesi gerekir. Bundan dolayı zaman alıcı ve masraflıdır. Ayrıca her akustik iskandil aletinde ses hızı düzenlemesi mümkün değildir. Bu tip aletlerle yapılan ölçmelerden elde edilen değerlere hız düzeltmesi uygulanır.

Pratik Yöntem: Bu yöntemde akustik aletler, ip ya da tel iskandil ile kontrol edilir. Bu işlem için ip ya da tel ucuna bağlanmış yatay konumlu metal bir plakadan faydalanılır veya sualtı tabanının düz olduğu tahmin edilen yerlerde kontrol ölçmeleri yapılır. Metal plaka, gönderici-alıcı ünitenin tam altına 5m,10m,15m gibi bilinen derinliklere indirilir. Bu metal plakanın derinliği, bir defa da aletle ölçülerek aynı değerler okunacak şekilde aletin kayıt ünitesi düzenlenir. Bu yöntemden doğru sonuç alınabilmesi için karşılaştırma ölçmeleri bölgeyi temsil edecek birkaç noktada yapılmalıdır. Ayrıca bu noktalarda su akıntısının olmamalıdır. Sualtı tabanının düz olduğu bilinen yerlerde de kontroller benzer şekilde yapılabilir(Erkaya 1995).

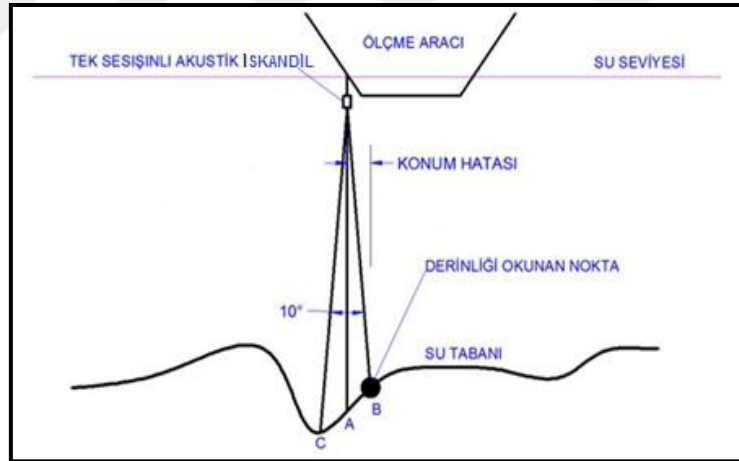
Akustik Iskandil, tek ışınlı (single - beam) ve çok ışınlı (multi-beam) akustik iskandil olmak üzere iki türdür.

Tek ışınlı akustik iskandil, gemi gövdesine sabitlenmiş transdüserin su altına gönderdiği sinyalin gidiş-geliş zamanını kaydederek derinliğin elde edilmesini sağlayan yöntemdir (Dumanoğlu 2014). Tek ışınlı akustik iskandil, doğrudan aşağıya doğru su kolonuna bir ışın içinde yüksek frekanslı bir akustik sinyal kullanır (Şekil 2.4). Bu bakımdan bu sistemden elde edilecek derinlik bilgisi, örnekleme aralığında (gemi yönü boyunca) elde edilen yol boyunca yüksek çözünürlüklü veri toplar. Geminin altındaki su derinliğinin devamlı kayıt yapması, ölçüm süresince yüksek çözünürlüklü derinlik ölçümleri sağlar (Zirek 2017).



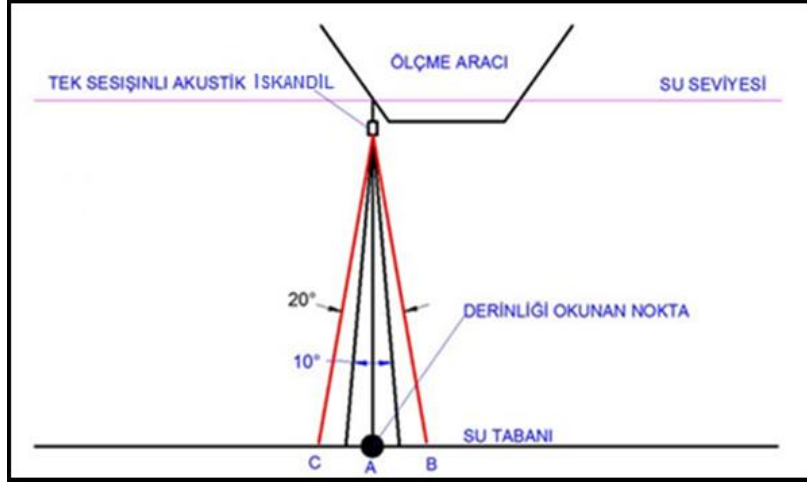
Şekil 2.4 Tek ışınli akustik iskandil ölçüm alma düzeneği (Zirek 2017).

Akustik iskandil, sesin çıktığı noktadan itibaren konik bir açıyla gelir ve sağdan soldan gelen yansımalarda elemine edilir. Dolayısıyla nadire yönlendirilmiş bir akustik iskandil cihazı, o koni içerisine düşen ilk yansıma noktasını ölçü noktası olarak kaydeder ve ölçülen derinlik o nokta olur. Diğer bir ifadeyle; bulunulan nokta yakınlarında yüksek bir nokta var ise o nokta derinlik olarak kaydedilir (URL-4).



Şekil 2.5 Tek Işınli Akustik İskandil İçin Konum Hatası (URL-4).

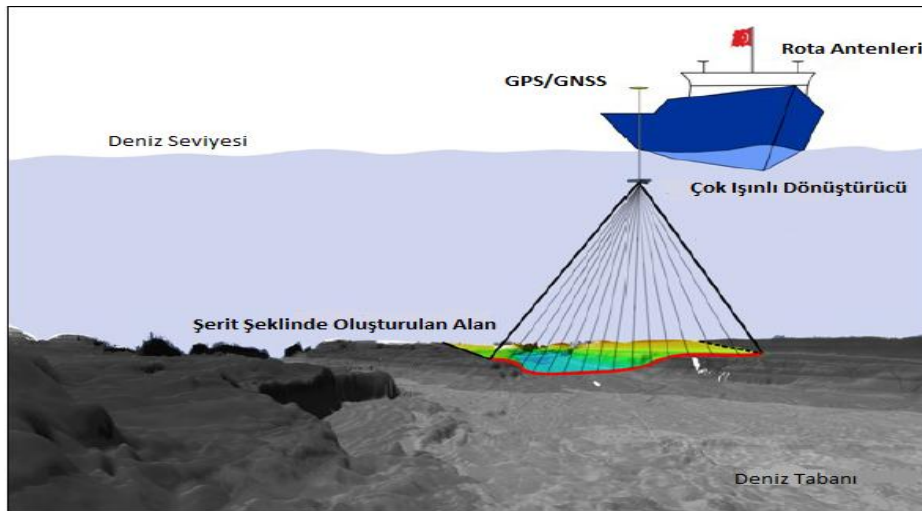
Şekil 2.5'te gösterildiği üzere, A noktası ölçülmek istenen nokta iken, B noktası ölçülmektedir. Burada en düşey nokta olan C ise hiç bir zaman ölçülememektedir. Aynı problemi düz bir alanda incelediğimizde ise her zaman A noktası tam nadir de bulunur ve derinlik olarak kaydedilir. B ve C noktalarına okuma alınması durumunda da eğik mesafe ölçülürdü. Bu da sık sık, ölçme aracı sallandıkça olduğundan hep daha derin noktalar ölçülmüş olurdu (URL-4).



Şekil 2.6 Tek Işınlı Akustik İskandil Ölçümü (URL-4).

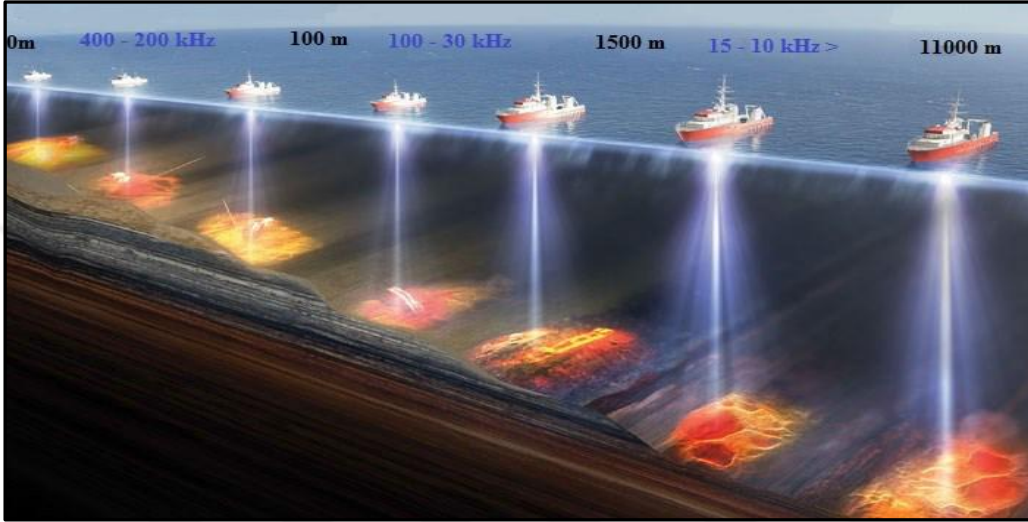
Şekil 2.6'daki açı küçüldükçe eğik okumalar sıklaşacağından, hareket sensörüne ihtiyaç duyulur. Ancak, yüksekliklerin şiddetli değiştiği alanlarda dar açılı derinlikölçerleri kullanılmasını zorunlu kılar. Tek ışınlı akustik derinlikölçer yaygın olarak 7-10 derece aralığında üretilir (URL-4).

Çok ışınlı akustik iskandil, tek ışınlı akustik iskandilin bir uzantısı olmaktadır. Bir ışın dizisi oluşturacak biçimde dizilmiş bir dizi tek ışın transdüseri olarak da tanımlanabilir. Transdüserleri hassas olarak hizalayarak, bir ölçüm şeridini gözlemleyebilir. Çubuk, tek ışınlı dönüştürücü ışınından çok daha geniş görüş açısına sahiptir. Bu nedenle görüntüleme alanı genişler ve bu da maliyeti azaltır.



Şekil 2.7 Çok ışınlı akustik iskandil ışın düzeni (Zirek 2017).

Günümüzde, çok ışınlı akustik iskandil şekillendirilebilir ışın demeti kullanarak okyanus derinliğinin yüksek çözünürlüklü ölçümlerini üretmek için kullanılmaktadır. Bu ışın demeti 45°'den 150°'ye kadar kullanılan üniteye göre değişiklik gösterebilir (Şekil 2.7). Dönen ışınlar konum bilgisi ile tekne hareketlerinin düzeltmeleri yapılarak batimetri sonucunu verir. Böylece bu durum, yöntemde amaca uygun birden fazla frekansın kullanılabileceği anlamına gelmektedir (Şekil 2.8) (Dumanoğlu 2014).



Şekil 2.8 Frekanslara İlişkin Derinlik Değerleri (Zirek 2017).

Sonuç olarak, akustik yöntemler, okyanusun derinliklerinden, sığ nehirlerle, göllere ve en derin deniz çukurlarına kadar kullanılabilmektedir. Yöntemin kıyı bölgelerde kullanımı ise ayrıntı sayısının artması nedeniyle derin bölgelerdeki çalışmalara nazaran daha fazla zaman ve çaba gerektirmektedir (Gürtürk 2015).

Akustik iskandil uygulamalarına oluşabilecek hata kaynaklarına bakıldığında; su ortamından, aletsel veya kişisel kaynaklı hatalar meydana gelebileceği söylenebilir. Bu hatalar aşağıda açıklanmıştır (Görmüş 2015).

a) Su Ortamından Kaynaklanan Hatalar

Su ortamındaki hatalar; hız hatası, su seviyesindeki düzensiz değişimler gibi nedenlerden dolayı ortaya çıkmaktadır.

- Hız Hatası

Akustik iskandil aletlerinin kontrol - kayıt ünitesi çoğunlukla belli bir ses hızı (V_0) değerine ayarlanır. Bundan dolayı, çalışılan ortamdaki fiziksel koşulların gerektirdiği ses hızı, V_0 değerinden farklı ise, kayıt kâğıdından okunan derinlikler dH_v kadar hatalı olur (Denklem 2.3). Aletin ayarlandığı V_0 ses hızına göre ölçülmüş geçici derinlik olan H'_0 , 2.2 eşitliğindeki gibi hesaplanır. Sonuçta elde edilen hata formülü Denklem (2.4)'teki gibidir (Görmüş 2015).

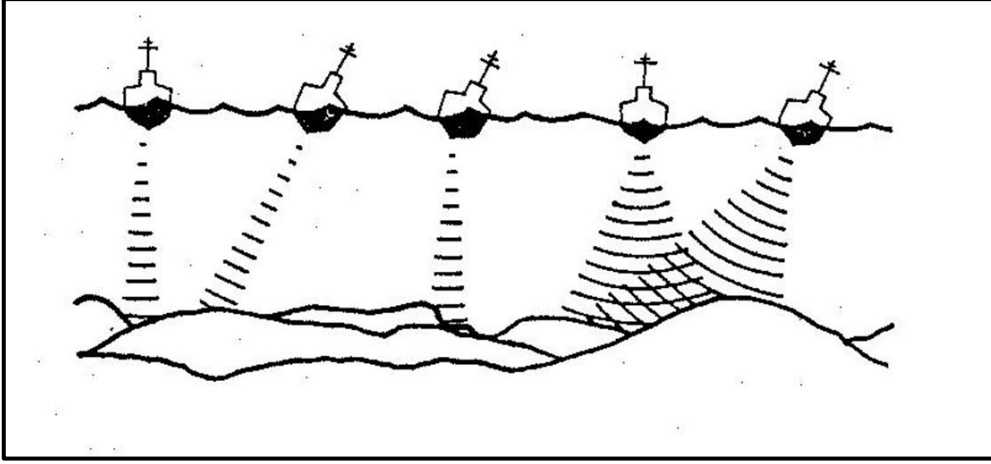
$$H'_0 = \frac{t}{2} V_0 \quad (2.2)$$

$$dH_v = H'_0 \left(\frac{V - V_0}{V_0} \right) \quad (2.3)$$

$$H' = H'_0 + dH_v \quad (2.4)$$

- Su Seviyesindeki Düzensiz Değişmeler

Su seviyesindeki düzenli değişmeler ile gel-git etkisinden kaynaklanan değişmeler, mareograf ölçüleri ile saptanabilir. Bu yüzden burada dalgalardan dolayı oluşan düzensiz seviye değişimleri ve yalpa etkileri söz konusudur (Şekil 2.9). Yalpa etkilerinin yanında su seviyesindeki düzensiz değişmelerin etkisi ihmal edilebilir. Hidrografi taşıtının dalgalar nedeniyle sağa sola ya da öne arkaya yalpa yapması, sabit gönderici - alıcı ünitelerde ses konisi ekseninin düşeyliğini etkiler. Bu yüzden derinlik ölçmelerinde yanlışlık derecesinde kaba hatalar oluşur. Yalpalar düzensiz olduğu için hatanın miktarını belirlemek mümkün değildir. Bundan dolayı yalpa etkisi dengelenerek ses konisi ekseninin düşeyliğini sağlayan transdüserler kullanılmalıdır. Aksi halde su yüzeyinin dalgalı olduğu günlerde ölçüm yapılmamalıdır (Görmüş 2015).



Şekil 2.9 Su seviyesindeki düzensiz değişmelerin derinlik ölçümüne etkileri (Görmüş 2015).

b) Aletsel Hatalar

Akustik iskandil aletlerinin ünitelerinin her biri yeterli ve doğru çalışmalıdır. Örneğin, enerji ünitesi yeterli çalışmazsa diğer üniteler de doğru çalışmaz ve böylece ölçmelerde aletsel hatalar oluşur. Bu nedenle akustik aletler için gerekli enerjinin maksimum ve minimum sınırları belirlenmiştir. Aletsel hataların en önemlileri: seyir süresi hatası ve ayar hatasıdır.

- Seyir Süresi Hatası

Ses impulslarının sualtı tabanına gidiş-dönüş (seyir) süresi "t", elektronik olarak ve aletin inceliğine göre $\pm 10^{-3} - 10^{-4}$ saniye doğrulukla saptanır. Bunun derinlik ölçmeleri üzerindeki etkisi (2.5) eşitliğine göre belirlenir.

$$dH'_t = \frac{v}{2} dt \quad (2.5)$$

- Ayar Hatası

Ayar hatası, aletin normal çalışma düzeninin bozulması veya yetersiz düzenlemeler olarak adlandırılır. Havuz gibi suyun yoğunluğunun ve derinliğinin bilindiği bir yerde yapılan ölçmeler ile hata miktarı belirlenir. Gerçek derinlik ile kayıt kâğıdından okunan derinlik arasındaki fark, derinlik okuma inceliğinden küçük ise alete ya da ölçülere düzeltme uygulanmaz.

c) Kişisel Hatalar

Akustik iskandil aletleri ile sürekli ve otomatik ölçüm yapılmasına rağmen bazı durumlarda alet operatörüne ihtiyaç duyulur. Bu durumlar; ölçmeye başlamadan önce aletin kontrol edilmesi ve düzenlenmesi, çalışma esnasında derinlik basamağının değiştirilmesi, konum ölçümü yapılan iskandil noktalarının işaretlendirilmesi ve numaralandırılması gibi işlerdir. Operatörün yapacağı hatalar ile kayıt kâğıdından derinlik okuması yapan kişinin hataları, kişisel hataları oluşturur. Aletin hatalı düzenlenmesi, transdüser derinliğini ölçme hatası, derinlik okuma hatası gibi hatalar oluşabilecek başlıca kişisel hatalardır.

- Aletin Hatalı Düzenlenmesi

Kişisel düzenleme hataları, kontrol ünitesinde hatalı hız ayarı ve kayıt kâğıdının sıfır ayarının hatalı yapılmasıdır. Dikkatsizlikten kaynaklanan bu hatalar ölçüleri sistematik olarak etkiler. Hatanın varlığı ve miktarı, çalışma esnasında aletin belirli zamanlarda kontrol edilmesi ile belirlenebilir.

- Transdüser Derinliğini Ölçme Hatası

Transdüser su yüzeyinden belirli bir derinliğe indirilir. Alet daima bu ünitenin altında kalan derinliği ölçer. Bu yüzden su yüzeyine göre derinliği belirlemek için, transdüser derinliğinin de ölçülerek eklenmesi gerekir. Normal koşullarda transdüser derinlik hatasının ± 2 cm den küçük olduğu kabul edilir.

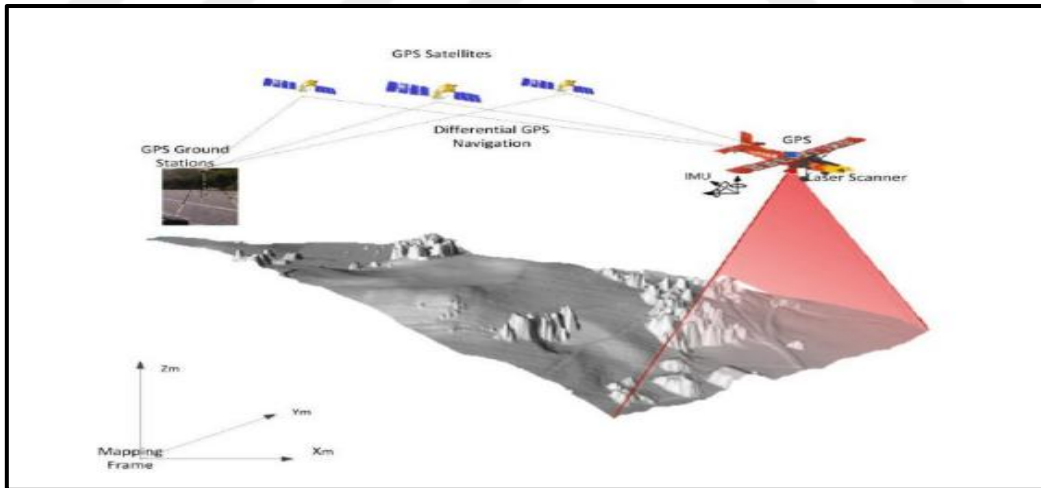
- Derinlik Ölçme Hatası

Akustik iskandilde derinlik işaretleyen aletler (ekograflar) kullanıldığı için derinlikler kayıt kâğıdından okunur. Derinlik okumasında kişiye bağlı olarak düzenli ve düzensiz hatalar meydana gelebilir. Kayıt kâğıdı üzerindeki taban grafiği net ve ince bir çizgi olmadığı için okuma inceliği ortalama, ± 0.5 mm olarak alınır. Kaba okuma hataları genellikle, yanlış okuma ve yalancı eko dalgası olarak ikiye ayrılır. Yanlış okuma, genellikle dikkatsizlikten meydana gelir. Yalancı eko yanlgısı ise, okuyucunun, yorumlama bilgisi yetersizliğinden dolayı gerçek tabana ait olmayan çizgiyi okuması sonucu ortaya çıkar (Görmüş 2015).

2.2.2.2 Hava Lidar Batimetri (ALB)

Yüksekliğe ilişkin bilgiler birçok uygulama için hayati önem taşımaktadır. Yükseklik bilgisini içeren modellerin oluşturulması için gerekli olan verilerin toplanmasında çok sık kullanılmaya başlanan yöntemlerinden biri de Hava Lidar Batimetri (ALB) sistemidir. Şekil 2.10'te genel yapısı verilen bu sistem, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretiminde kullanılan verilerin toplanması için yüksek hassasiyet ve hız sağlar. Radar benzeri bir mantıkla çalışmaktadır fakat radar sistemlerinden farklı olarak radyo dalgaları yerine lazer ışınları kullanılmaktadır (Polat 2014).

ALB'nin çalışma prensibi, uçaktaki bir optik alıcı, hem alttan hem de su yüzeyinden sinyal yansımaları tespit eder. Su derinliği, sistemin işletim geometrisini, dalga yüksekliğini ve gelgit etkilerini hesaba kattıktan sonra, bu iki yansıma arasındaki geçen süre ile belirlenir. Temel prensip Uzaktan Algılama ile aynıdır, ancak ulaşım araçları yaklaşık 300 m'de uçan farklı düzlemlerdir. ALB sistemleri aşırı sığ sularda düzgün ve yoğun veri sağlayabilir. Yaklaşık 5 metreden daha kısa derinliklerde daha az etkili olan akustik araştırmalara iyi bir tamamlayıcıdır (Germen 1994).



Şekil 2.10 ALB sisteminin genel yapısı (Polat 2014).

Lazer darbeleri kullanarak gönderilen ışık ışınları sualtı tabanından yansıyarak geri dönmektedir. Işık dalgalarının su içindeki yayılma hızı c bilindiğinden ışığın t seyir süresi ölçülerek su derinliği; (2.6) eşitliğinden bulunur (Örgören 2011).

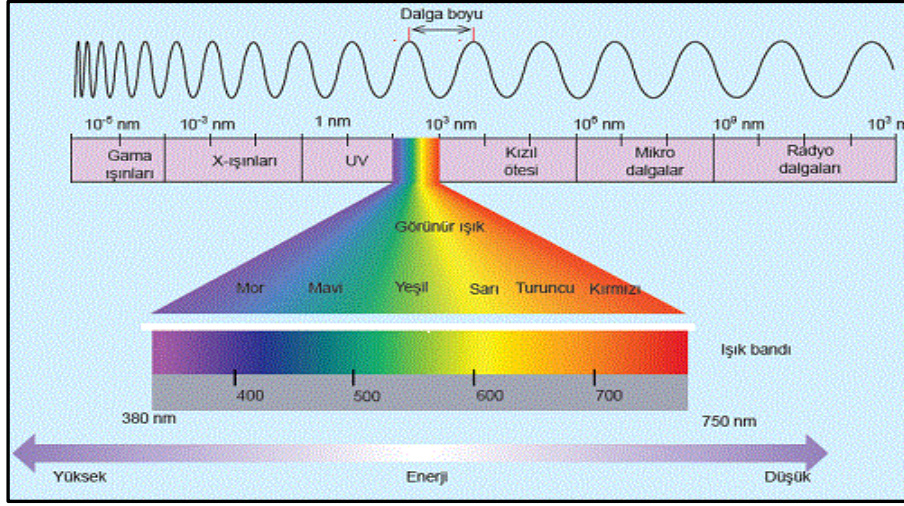
$$H = \frac{t}{2}c \quad (2.6)$$

ALB sistemleri, su hattının hem altında hem de üstünde tek bir taramada inceleme yeteneği gibi birçok avantaja sahiptir. Ayrıca, görsel analiz yapmak ve dijital arazi modelleriyle birlikte kullanmak için ayrıntılı dijital görüntüler kaydedilir. Ayrıca, teknelerin tehlikeli olabileceği veya erişemeyeceği kıyı bölgelerinde, ALB sistemlerinin kullanılması güvenlidir. ALB Sistemleri ayrıca aşırı hava veya buz gibi ortam koşulları veya doğal afetler ortaya çıktığında çevresel koşullar göz önüne alınmadan da araştırma yapabilir. Büyük alanları kısa zaman dilimlerinde uygun maliyetli bir şekilde inceleme yeteneği vardır.

Ancak, bu sistemin birkaç dezavantajı bulunmaktadır. Yeşil bir lazer darbesini iletme için gereken enerji miktarı, kızılötesi lazer darbesinden çok daha fazladır. Daha yüksek güçlü lazer darbeleri, yeşil lazer için (1 kHz) üretilen darbelerin frekansının kızılötesi lazerden (8 kHz) daha düşük olmasına neden olur ve bu nedenle daha düşük bir nokta yoğunluğu elde edilir. Bu, su sütunundaki saçılmaya ek olarak elde edilebilecek maksimum derinliği sınırlayan sensöre geri dönen enerji miktarını azaltır (Zirek 2017). En önemli dezavantajı, ölçümlerin su netliğine bağlı olmasıdır. Berrak sularda, 50 metrenin üzerindeki derinliklerde kullanılabilir, ancak bulanık suda yalnızca görünür derinliğin iki ila üç katı derinlikte başarılı olur. Bu yöntemin doğruluğu $\pm 20\text{cm}$ 'dir (Germen1994). Diğer bir faktör, ilave kırılma nedeniyle su penetrasyonunu zorlaştırabilen yüzey köpüğüdür. Bu problemlerin üstesinden gelmek için ek uçuş hatlarının taranması gerekir (Zirek 2017).

2.2.2.3 Uydu Görüntüleri İle Batimetri

Batimetrik yöntemler olarak Akustik İskandil, Hava Lidar Batimetri (ALB) ve uydu görüntüleri kullanılır ancak Akustik İskandil ve LİDAR gibi araştırmaların maliyeti yüksektir. Ayrıca, gerekli izinlerin alınması çok zaman alabilir ve güvenlik riski oluşturabilir. Bu riskler; tekne trafiğinden ya da tekneleri yaşanamayacağı bölgelerden kaynaklı bazı detaylara girilemeyebilir. Bu nedenlerle uydu batimetri tekniği son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.



Şekil 2.11 Elektromanyetik spektrum (URL-6).

Uydulardan yapılan batimetrik çalışmalarda multispektral görüntüleri kullanarak batimetrik harita yapımında en düşük 400 nm (Mor) ve en yüksek 700 nm (kırmızı) dalga boyu kullanılır (Şekil 2.11). Bu çalışmaların nasıl gerçekleştiği Bölüm 3'de ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

2.3 BATİMETRİK ÇALIŞMALARDA REFERANS YÜZEYİ

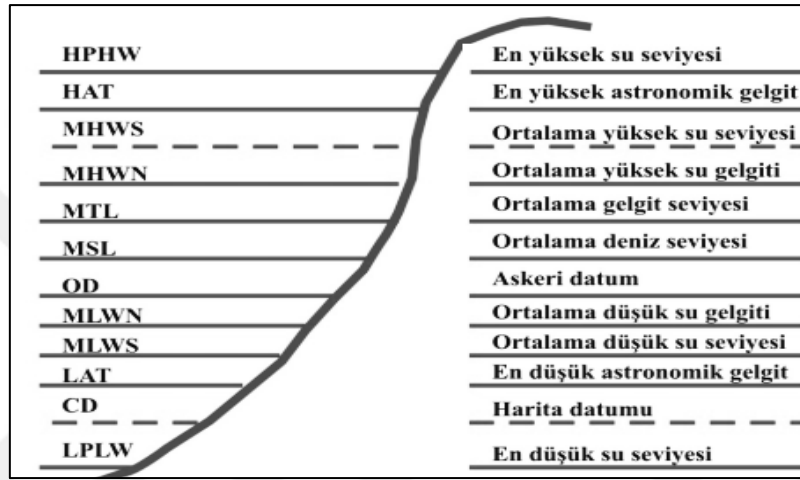
Batimetrik ölçümlerde de aynı kara ölçmelerinde olduğu gibi datum tanımlamasına ihtiyaç duyulur. Yatay datum için kara ölçmeleri için kullanılan herhangi bir datum seçilebilir ancak derinlik ölçmeleri için dikey datum jeoid olarak tanımlanmaktadır (Erkaya 1995).

Bilindiği gibi jeoid, durgun su yüzeylerinin karaların altında da devam ettiği varsayıldığında oluşan kapalı bir eşpotansiyel yüzey olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu su yüzeyleri çeşitli çekim etkileri, iklim koşulları ve meteorolojik etkiler nedeniyle sürekli hareket halindedir. Dolayısıyla batimetrik ölçmeler hareketli bir yüzey üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle dikey datum tanımlaması yapılırken ortalama deniz yüzeyi kavramı üzerinden hareket edilir (Erkaya 1995).

2.3.1 Ortalama Deniz Seviyesi ve Belirlenmesi

Ortalama deniz seviyesi; gelgit hareketleri, iklim değişiklikleri ve meteorolojik etkilerden arındırılmış durağan deniz seviyesi olarak tanımlanabilir. Batimetrik ölçümler o anki su

seviyesine göre yapıldığı için, ölçümlerin referans yüzeyine indirgenmesi gerekir. Bu nedenle deniz seviyesi ölçümleri başta jeodezi ve oşinografi olmak üzere yer bilimlerinin temel veri kaynağıdır. Ortalama deniz seviyesinin belirlenebilmesi için ülkemizde TUDES kapsamında işletilen 20 mareograf istasyonunda, dünya standartlarına uygun olarak deniz seviyesi gözlemleri gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.12’ de gösterildiği gibi bu istasyonlar başta ortalama deniz seviyesi ve diğer gelgit datumlarının belirlenmesi olmak üzere, jeoid modelinin kontrolü, deniz yüzeyi topografyasının belirlenmesi ve farklı düşey datumlar arasındaki ilişkinin kurulmasını sağlamaktadır (Simav vd. 2011).



Şekil 2.12 Gel-git seviyeleri arasındaki ilişki (Erkaya 1995).

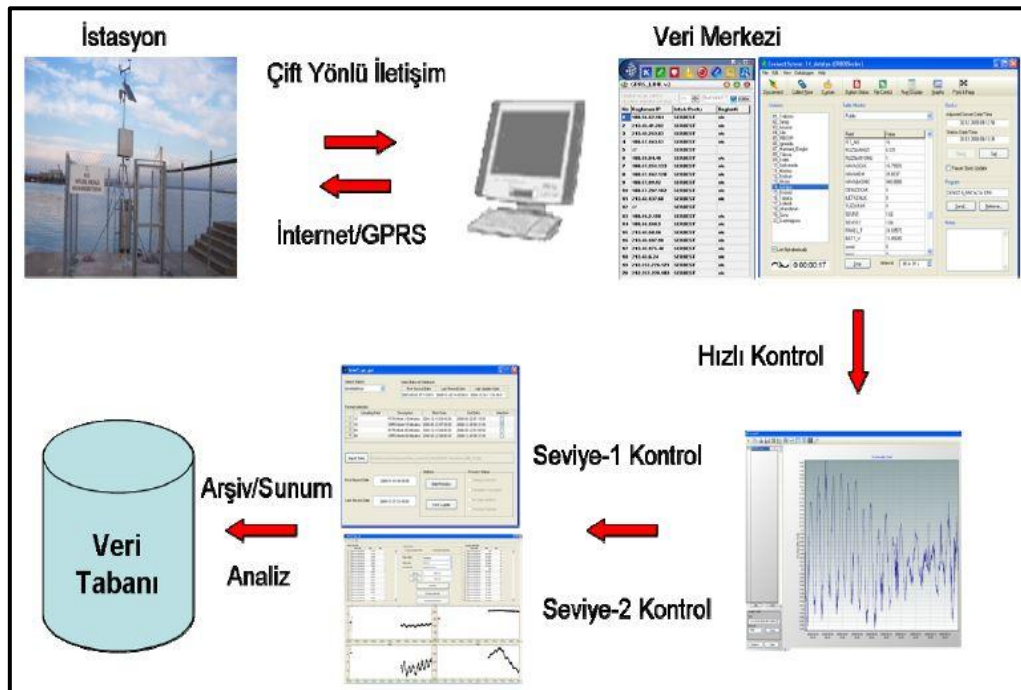
Türkiye’de ilk kez deniz seviyesi belirleme çalışmaları, Fransa Ulusal Coğrafya Enstitüsü tarafından 1922 yılında İskenderun’da bir istasyonun kurulması ile başlamıştır. 1934 yılında Kandilli Rasathanesi tarafından Arnavutköy’de ve 1935 yılında ise Harita Genel Komutanlığı tarafından Antalya’da mareograf istasyonunun kurulması ile devam etmiştir (Erkaya 1995).

Günümüzde ise TUDES kapsamında Türkiye ve KKTC kıyılarına dağılmış 20 adet mareograf istasyonu ile deniz seviyesi izleme çalışmaları sürdürülmektedir. Bu istasyonların dağılımı Şekil 2.13’de gösterilmektedir (Simav vd. 2011).



Şekil 2.13 Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (Simav vd. 2011).

Deniz seviyesi, 17 TUDES istasyonunda 15'er dakikalık, 3 istasyonda ise 1'er dakikalık ortalamalar halinde ölçülmektedir. Mareograf istasyonlarında deniz seviyesi ölçümleri yanında sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr hızı ve yönü gibi meteorolojik parametreler de ölçülmektedir. İstasyonlarındaki sensörlerden toplanan veriler, veri toplayıcıda tutularak GPRS modem ile veri merkezine gönderilmektedir. Veri merkezinde, mareograf istasyonunda toplanan verilere 2 seviyeli kontrol uygulanmakta olup ve kontrol edilen veriler veri tabanında saklanmaktadır (Şekil 2.14) (Simav vd. 2015).



Şekil 2.14 TUDES veri akışı (Simav vd. 2011).

2.4 IHO STANDARTLARI

Dünya çapında yapılan hidrografik ölçmeler, Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO) tarafından kontrol edilmektedir. Bu örgütün amacı hidrografi dairelerinin faaliyetlerini koordine etmek, deniz harita ve dokümanlarını standart hale getirmek, hidrografik ölçmelerin yapılması için güvenilir ve etkili yöntemler tespit etmek, hidrografi ve oşinografi teknikleri geliştirmektir (Ekizoğlu 2010).

Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO) hidrografik ölçmelerde uyulması tavsiye edilen standartları aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Hidrografik ölçme standartları (IHO 1998).

DERECE	Özel	1. Derece	2. Derece	3. Derece
Tipik Saha Örnekleri	Limanlar, yanaşma yerleri ve asgari omurga altı kleransı olan kritik kanallar	Limanlar, liman yaklaşma suları, tavsiye edilen kanallar ve derinliği 100 m.ye kadar olan bazı kıyı alanları	Özel ve 1. derece ile kapsanmamış veya derinliği 200 m.ye kadar olan alanlar	Özel, 1. ve 2. derece ile kapsanmamış açık denizler
Yatay Doğruluk	2m	5m.+ Derinliğin %5'i	20m.+ Derinliğin % 5'i	150m.+ Derinliğin % 5'i
İndirgenmiş Doğruluklar İçin Derinlik Doğruluğu	a = 0.25m. b = 0.0075	a = 0.5m. b = 0.013	a = 1.0m. b = 0.023	a = 1.0m. b = 0.023
%100 Dip Araştırması	Zorunlu	Seçilmiş sahalarda gerekir	Seçilmiş sahalarda gerekebilir	Uygulanmaz
Sistem Tespit Yeteneği	1m ³ 'ten büyük cisimler	40m.den sığ derinliklerde 2m ³ ten, 40m.den sonra derinliğin % 10'undan büyük cisimler	40m.den sığ derinliklerde 2 m ³ ten, 40m.den sonra derinliğin %10'undan büyük cisimler	Uygulanmaz
Azami Hat Aralığı	%100 Dip Kaplaması zorunlu olduğu için uygulanmaz	Ortalama derinliğin 3 Katı veya 25 m. (Hangisi daha büyük ise)	Ortalama derinliğin 3-4 katı veya 200 m. (Hangisi daha büyük ise)	Ortalama derinliğin 4 katı

Derinlik doğruluğu Çizelge 2.1'de verilen a ve b değerlerini kullanılarak (2.7) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$s(d) = \pm[a^2 + (b * d)^2]^{1/2} \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte;

a: Sabit derinlik hatası (tüm sabit hataların toplamı)

b: Derinliğe bağlı hata katsayısı

d: Derinlik

$b \times d$: Derinliğe bağlı hata (tüm derinlik hatalarının toplamı)'dır.

$s(d)$: %95 güvenirlik seviyesine uygun min. Derinlik doğruluk değeri (max. hata miktarı) olarak ifade edilmektedir.



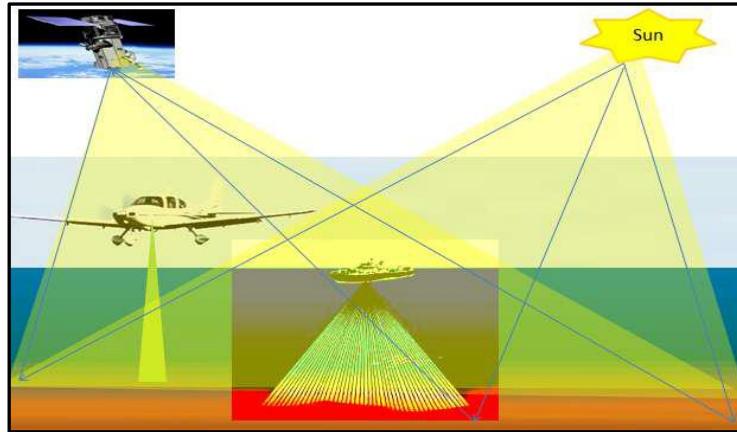
BÖLÜM 3

UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE YAPILAN BATİMETRİK ÇALIŞMALAR

Uzaktan Algılama (UA); dünyadaki kara yüzeyi, okyanuslar ve atmosferdeki özellikler, nesneler ve sınıflar hakkında bilgi elde etmek amacıyla anında olmayan coğrafi verileri toplamak ve yorumlamak için kullanılan bir teknolojidir (Germen 1994).

Uzaktan algılama ile yapılan batimetri, Akustik İskandil'e göre geniş alanları haritalamak için önemli ölçüde daha düşük maliyetli olması, akustik iskandil ile girilemeyen bölgeleri görüyor olması ve anlık veri sağlaması yönünden daha avantajlıdır. (Alsubaie 2012). Bununla beraber elde edilen veriler seyir ve navigasyon amaçlı olmayıp sadece o bölge için genel bir görüntü vermektedir. Bu da spektral çözünürlüğüne bağlı olan bir dezavantajdır. Çözünürlük arttığı sürece bu dezavantajında ortadan kalkacağı düşünülmektedir.

Uzaktan algılamanın LIDAR gibi aktif bir yöntem ve uydu görüntüsü gibi pasif yöntem olmak üzere iki tür yöntemi vardır. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, uydu görüntüleri geniş alanların haritalanması için çok verimli ve uygun maliyetlidir. Fakat belki de en önemlisi, uydu görüntülerinin sığ ve bulanık olan kıyı bölgelerinin su derinliğini elde etme kabiliyetine sahip olmasıdır (Alsubaie 2012).



Şekil 3.1 Akustik İskandil, Lidar ve uydu görüntüleri arasındaki fark (Alsubaie 2012).

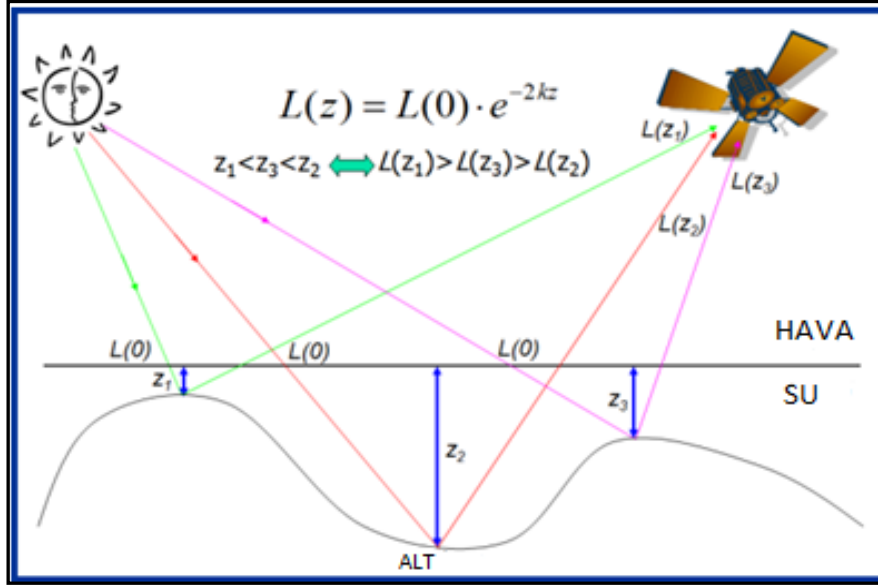
Uydu görüntüleri piksellerden oluşmaktadır. Algılayıcılar sayesinde sayısal (dijital) olarak elde edilir. Bu algılayıcıların (sensörler) çalışma prensibi dijital kameraların çalışma prensibi ile hemen hemen aynıdır. Uydu algılayıcısı, sayısal kameralarda bulunan filmler yerine yeryüzünden veya uzaydaki objelerden yansıyan elektromanyetik enerjinin miktarını ölçen çok sayıda küçük alıcılardan oluşmuştur. Bunlar bandsal (spektral) ölçümler olarak adlandırılır. Her bir spektral yansıma değerinin sayısal olarak bir numara karşılığı bulunmaktadır. Bu sayılar bilgisayarlar arayıcılığıyla renkler ve gri renk tonlamasındaki parlaklık değerlerine göre görüntüye dönüştürülür (Uysal 2016).

Uydu görüntüsü piksel değerleri ve su derinliği ölçümleri arasındaki istatistiksel ilişkilere dayanarak yapılan işlemlere genel olarak SDB (Satellite Derived Bathymetry) denilmektedir. Bununla ilgili literatürde birkaç yöntem geliştirilmiştir. Batimetri verileri; sualtı topografyasının izlenmesi, biriken tortulların hareketi ve deniz navigasyon için deniz haritaları üretimi başlıca araştırmalarda kullanılabilir (Parente ve Pepe 2018). Bu amaçla SDB; ucuz, hızlı, pratik, ayrıntılı, sayısal ve güncel veriler sunmaktadır (Uysal 2016).

3.1 FİZİKSEL ÇALIŞMA PRENSİBİ

Uzaktan algılanan görüntülerinden batimetrik bilgi elde etmek için kullanılan yöntemlerin altında yatan temel prensip güneş ışığının değişik dalga boylarında farklı derinliklerde su bünyesine nüfuz olması ve ışığın sudan geçtiğinde su sütunu ile etkileşerek zayıflamasıdır (Şekil 3.2) (Deidda ve Sanna 2012). Su yansıyan ışığın çoğunu emdiğinden dolayı, derin alanlar görüntüde karanlık görünür. Sığ alanlar görüntü üzerinde daha açık görünür çünkü deniz tabanından yansıyan daha az ışık su sütunu boyunca geçişte emilir (Su vd. 2008).

Işığın zayıflaması ve nüfuz etmesi dalga boyuna bağlıdır Kırmızı band, berrak suda yaklaşık 5m den daha fazla derinliklere nüfuz etmezken, mavi band temiz suda, 25-30m derinliğe kadar nüfuz edebilir (Su vd. 2008).



Şekil 3.2 Fiziksel prensip (Su vd. 2008).

Burada;

$L(z)$ = su tabanına ulaşan ışınım

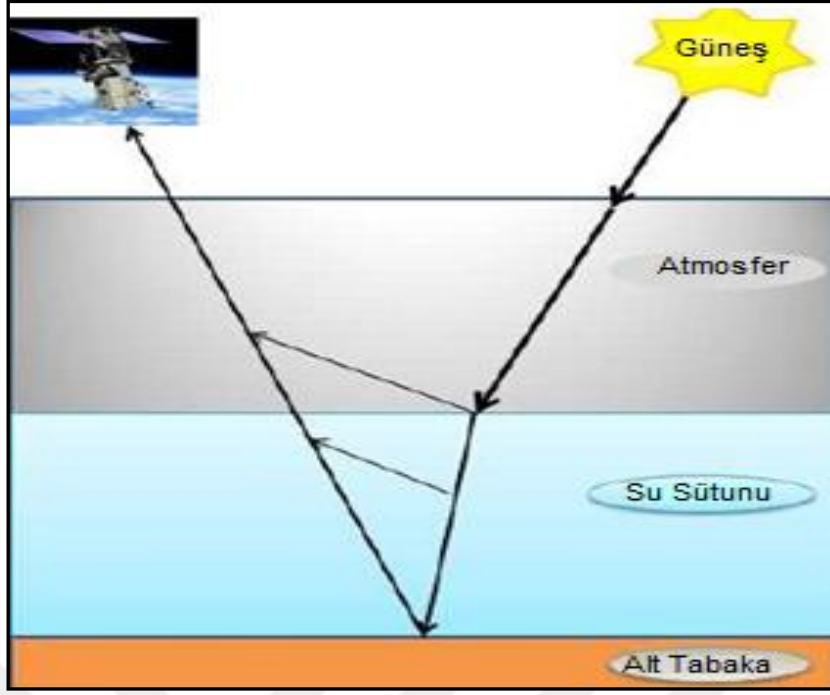
k = zayıflama katsayısı

z = su derinliği

$L(0)$ = su yüzeyi'dir.

3.2 IŞIK TEORİSİ

Uydu görüntülerinden batimetrik çalışmaların nasıl yapıldığını anlamak için, ışık iletim teorisi hakkında bilgiyi sahip olmak gereklidir. Su derinliklerinin belirlenmesinin ardındaki temel ilke, uydu tarafından alınan görüntüdeki piksel parlaklığı beş parametrenin bir fonksiyonu olarak elde edilmektedir. Buna göre gelen güneş radyasyonu, radyasyonun atmosfere girişi ve atmosfere indirgenmesi, suyun içine ve dışına radyasyonun zayıflatılması, deniz dibinin yansıtma özellikleri ve suyun derinliği gibi parametreler Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Işığın zayıflama miktarı, uydu görüntüsünün her bandının dalga boyuna dayanmaktadır. Örneğin, su içinde yeşil ve mavi gibi kısa dalga boylarına sahip olan bandlar, daha uzun dalga boyuna sahip kırmızı bir bandtan daha derinlere nüfuz ederler (Alsubaie 2012).



Şekil 3.3 Uydu görüntüsünden derinlik belirlemesini etkileyen faktörler (Alsubaie 2012).

3.3 BATİMETRİK ÇALIŞMALARDA KULLANILAN UYDU SİSTEMLERİ

3.3.1 Landsat Uydu Sistemi

Landsat uydu sistemi, doğal kaynakların araştırılması amacıyla uzaya gönderilen ilk uzaktan algılama uydusudur. İlk üç Landsat uyduları birinci nesil uydular olarak isimlendirilmiştir. Benzer yörünge ve çok spektrumlu tarayıcı özelliklerine sahiptirler. Çok bantlı tarayıcı görünür bölgeden yakın kızılötesi bölgeye kadar 4 bantdan oluşur. Landsat 4 ve Landsat 5 uydular ise, çok spektrumlu tarayıcı ve sonradan geliştirilen Thematic Mapper (TM) adlı cihazın spektral ve geometrik çözünürlük üstünlüğü daha fazla olan optik bir sensördür.

Landsat 5'teki Thematic Mapper (TM) 1984 yılından beri kullanılan görünür NIR (yakın kızılötesi) ve SWIR (kısa dalga kızılötesi) bölgede 30m çözünürlüklü 6 adet band ve 120m çözünürlüğe sahip Termal Banda sahiptir. 1993 yılında, LANDSAT 6 talihsiz bir şekilde düştükten sonra LANDSAT 7, geliştirilmiş Thematic Mapper ve yüksek çözünürlüklü scanner ile donatılarak Mart 1999 da fırlatılmıştır (Şekil 3.4). Landsat 7 Geliştirilmiş Thematic Mapper Tarayıcısı taşımaktadır. Standart 7 Banda ek olarak 15m çözünürlüğe sahip pankromatik band (0.50-0.90µm) eklenmiştir. Bunlara ilave olarak Termal Bandın çözünürlüğü 60m'ye indirilmiştir (URL-7).



Şekil 3.4 Landsat 1-7 TM uydusu (URL-8).

Çizelge 3.1 Landsat 1-7 TM band özellikleri ve uygulamalar (Vural 2008).

Band Numarası	Dalgaboyu	Konumsal Çözünürlük	Uygulamalar
TM 1	0.45 - 0.52 μm (mavi)	30 m	Toprak/Bitki Ayırıştırılması, Batimetri/Kıyı Haritalanması, Yerleşim Alanı Belirlenmesi
TM2	0.52 - 0.60 μm (yeşil)	30 m	Yeşil Bitki Haritalanması, Yerleşim Alanı Belirlenmesi
TM3	0.63 - 0.69 μm (kırmızı)	30 m	Bitki Türleri Ayrımı, Yerleşim Alanı Belirlenmesi
TM4	0.76 - 0.90 μm (yakın kızılötesi)	30 m	Farklı Bitki Örtülerinin Belirlenmesi, Biokütle Muhteviyatı, Su Alanları Tanımlanması, Toprak Nemi
TM5	1.55 - 1.75 μm (kısa dalga kızılötesi)(SWIR)	30 m	Suda ve Bitkideki Neme Karşı Hassasiyet, Kar Alanlarının ve Bulut Kaplı Alanların Ayırıştırılması
TM6	10.4 - 12.5 μm (termal kızılötesi)	120 m	Isıl Radyasyona Bağlı Olarak Bitki ve Toprak Neminin Ayırıştırılması, Isıl Haritalama (Yerleşim Alanı ve Su)
TM7	2.08 - 2.35 μm (kısa dalga kızılötesi)(SWIR)	30 m	Maden ve Kaya Tiplerinin Ayırıştırılması, Bitki Nemi Muhteviyatına Hassasiyet
<u>TM8</u>	<u>0.50 - 0.90 μm</u>	<u>15 m</u>	<u>Landsat 7 ile eklenen pankromatik band</u>

Landsat 8, NASA'nın bu serideki sekizinci uydusu olup, yiyecek, su ve ormanlar gibi insan geçim kaynakları için gerekli kaynakların düzenlenmesi ve izlenmesinde Landsat'ın en önemli görevinin sürekliliği sağlanmıştır (Şekil 3.5). 15 metreden 100 metreye kadar orta

özünörlükte veriler sağlamaktadır (URL-9). Aynı noktadan 16 günde bir geçer ve gönderdiği veriler ücretsiz olarak indirilebilir (URL-10).

Landsat 8 iki farklı cihaz taşımaktadır. Bunlar;

- OLI (Operational Land Imager), daha önceki bandların yanında kıyı/coastral çalışmaları için derin mavi bandı, sirrus bulutlarının tespiti için kısa dalga kıızılötesi band ve kalite değerlendirme bandı bulundurmaktadır (URL-9).
- TIRS (Thermal Infared Sensor), iki adet termal banda sahiptir. Bu sensörler 12 bit üzerinde radyometrik özünörlük sağlamaktadır. Toplam band sayısı ise 11’dir (URL-9).



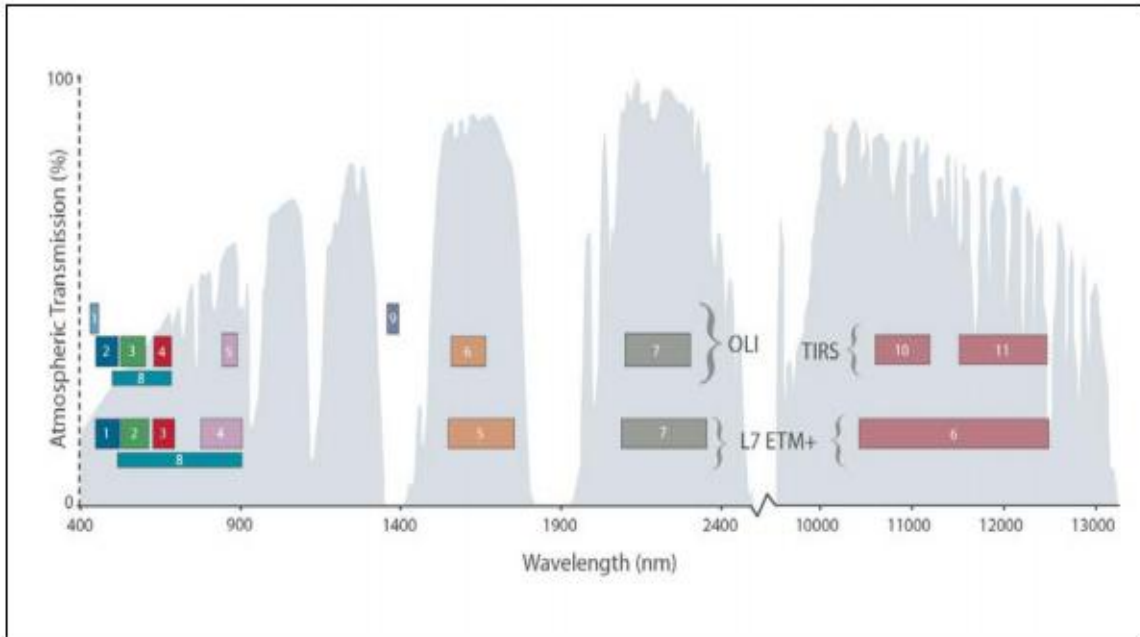
Şekil 3.5 Landsat 8 uydusu (URL-11).

OLI ne ait dokuz spektral band ile veri toplamaktadır. Bu dokuz bandın yedisi daha önceki Landsat5 TM ve Landsat 7 ETM sensörlerinde bulunan aralıklarına sahiptir. Böylece eski Landsat verileri ile uyumlu olması sağlanmışır. Çizelge 3.2’ de gösterilen yeni iki spektral band derin kıyı/coastral ve sirrus bandları ile bilim insanların yüksek ve ince bulutları tespit etmesine ve kıyı sularının (sığ sular) kalitesinin ölçölmesine olanak sağlamışır (URL-9).

Çizelge 3.2 Landsat 8’ın band özellikleri (URL-9).

Spektral Aralık	Dalgaboyu	Konumsal Çözünürlük
Band1 Kıyı/ Aerosol	0.433 - 0.453 μm	30 m
Band2 - Mavi	0.450 - 0.515 μm	30 m
Band3 - Yeşil	0.525 - 0.600 μm	30 m
Band4 - Kırmızı	0.630 - 0.680 μm	30 m
Band5 –Yakın Kızılötesi	0.845 - 0.885 μm	30 m
Band6 - Kısa Dalga Kızılötesi	1.560 - 1.660 μm	30 m
Band7 - Kısa Dalga Kızılötesi	2.100 - 2.300 μm	30 m
Band8 - Pankromatik	0.500 - 0.680 μm	15 m
Band9 - Sirkus	1.360 - 1.390 μm	30 m
Band10 -Uzun Dalga boyu Kızılötesi	10.30 - 11.30 μm	100 m
Band11 - Uzun Dalga boyu Kızılötesi	11.50 - 12.50 μm	100 m

Band 10 ve Band 11 iki spektral band termal kızılötesi algılayıcıda bulunmaktadır. Şekil 3.6’da Landsat 8 bandlarına ait dalga boyları yer almaktadır.

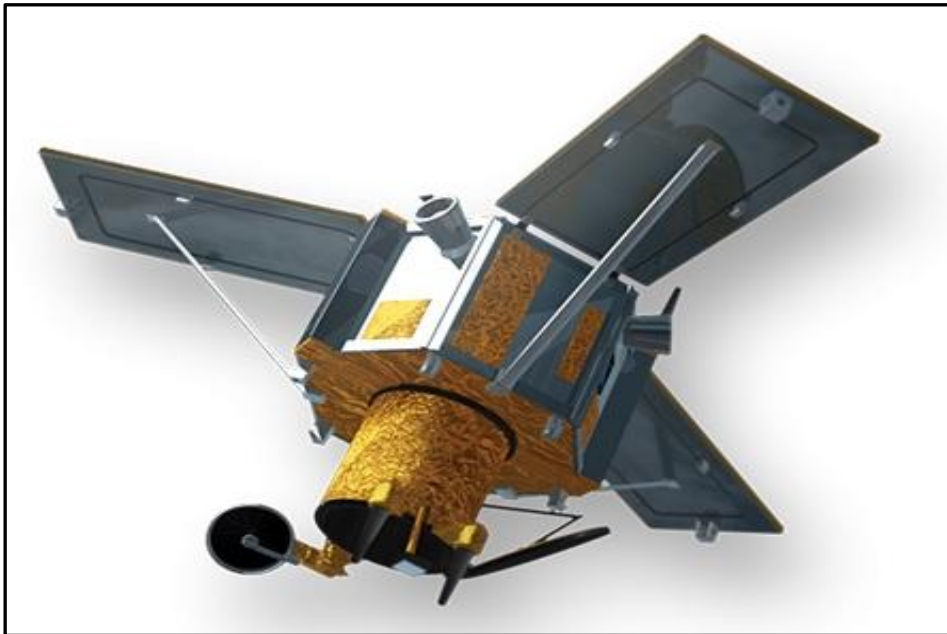


Şekil 3.6 Landsat 8 bandları dalga boyları grafiği (USGS 2016).

3.3.2 Ikonos Uydu Sistemi

1999 yılında Kaliforniya Vandenberg hava sahası ABD’den fırlatılan Ikonos uydusu yüksek çözünürlüklü bir uydudur (Şekil 3.7). Bu uyuyla nadir de 3.2m yersel çözünürlüklü multispektral, 0,82m yersel çözünürlüklü pankromatik (siyah-beyaz) görüntü elde edebilir (URL-12).

Uygulamaları arasında doğal kaynakların ve doğal afetlerin kentsel ve kırsal haritalanması, tarım ve ormancılık analizi, madencilik, mühendislik, inşaat ve değişim tespiti bulunmaktadır. Çevresel çalışmanın hemen hemen tüm yönleriyle ilgili verileri sağlayabilmektedir (URL-13). IKONOS uydusu ile 3 farklı görüntü oluşturulabilir. İlk görüntü pankromatik (1mx1m) görüntüdür. Bu görüntü; elektromanyetik spektrumun geniş bir bandından yansıyan enerjiyi ölçebilen algılayıcılar tarafından, siyah-beyaz görüntü olarak oluşturulurlar. İkincisi renkli (4mx4m) görüntüdür. Bu görüntüler; elektromanyetik spektrumdaki birden fazla bandta ölçen dijital sensörlerle elde edilirler. Diğer bir görüntü de çözünürlüğü 1mx1m olan pansharpen görüntüsüdür. Bu görüntü 4mx4 m çözünürlüklü renkli görüntüde bulunan bandlardan birinin yerine pankromatik görüntünün 1mx1m çözünürlüğünün konmasıyla oluşan birleştirilmiş bir görüntüdür. Bu işlem sonucu 1mx1m çözünürlüklü renkli görüntü elde edilmiş olur (Vural 2008).



Şekil 3.7 Ikonos uydusu (URL-13).

İkonos Uydusunun, Mart 2015 te 15 yıllık görev süresine son verilmiştir (URL-12). İkonos Uydusu Band ve Aralıkları Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 İkonos uydusu band ve aralıkları (URL-14).

Band	1-m PAN	4-m MS & 1-m PS
1 (Mavi)	0.45-0.90 μm	0.445-0.516 μm
2 (Yeşil)	-	0.506-0.595 μm
3 (Kırmızı)	-	0.632-0.698 μm
4 (Yakın Kızılötesi)	-	0.757-0.853 μm

3.3.3 Quickbird-2 Uydu Sistemi

Kaliforniya’da 2001 yılında fırlatılan QuickBird 2, özel bir ABD şirketi tarafından çalıştırılmaktadır. Şekil 3.8’de gösterilen QuickBird 2 verisinden, pankromatik band için 0.61m.’lik (nadir) çözünürlükte, multispektral bandlar içinse 2.5m.’lik (nadir) çözünürlükte görüntüler elde edilmektedir.



Şekil 3.8 Quickbird-2 uydusu (URL-15).

QuickBird 2 bir görüntüyü (17kmx17km) kabaca 4 saniyelik bir sürede çekmektedir (Çizelge 3.4). Uydunun görüntü çekimi 2014 Aralık tarihinde sonlandırılmıştır (URL-16).

Çizelge 3.4 Quickbird ait Spektral Bandların Özellikleri (URL-15).

Quickbird ait Spektral Bandlar	Pankromatik: 445 - 900 nm
	Mavi: 450-520 nm
	Yeşil: 520 - 600 nm
	Kırmızı: 630 - 690 nm
	Yakın Kızılötesi: 760 - 890 nm

3.3.4 WorldView-2 Uydu Sistemi

WorldView-2 uydusu 2009 yılı Ekim ayında fırlatılmış olup, dünyanın 8 spektral banda sahip ilk yüksek çözünürlüklü gözlem uydusudur (Çizelge 3.5). WorldView-2 uydusu (Şekil 3.9), 770km yükseklikte konumlandırılmış olup hem 0.46m yersel çözünürlüklü pankromatik hem de 1.84m konumsal çözünürlükte multispektral olarak görüntü sağlayabilmektedir.



Şekil 3.9 WorldView-2 uydusu (URL-17).

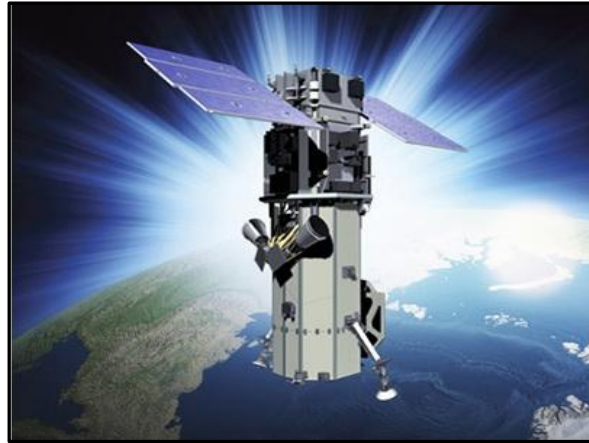
WorldView-2 uydusu ortalama 1.1 günlük yeniden ziyaret etme süresine sahiptir (URL-18). Uydunun kısa sürede dolaşması batimetrik çalışmaların sürekli kontrolünün yapılmasına avantaj sağlar.

Çizelge 3.5 WorldView-2 uydusuna ait bandların özellikleri (URL-18).

WorldView-2 ait Spektral Bandlar	Pankromatik: 450 - 800 nm
	Kıyısal: 400 - 450 nm
	Mavi: 450 - 510 nm
	Yeşil: 510 - 580 nm
	Sarı: 585 - 625 nm
	Kırmızı: 630 - 690 nm
	Kırmızı Kenarı: 705 - 745 nm
	Yakın-Kızılötesi (NIR) 1: 770 – 895 nm
	Yakın-Kızılötesi (NIR) 2: 860 - 1040 nm

3.3.5. WorldView-3 Uydu Sistemi

Digital Globe'un uydularından olan WorldView-3, 13 Ağustos 2014 tarihinde atılmıştır ve 0.31m pankromatik çözünürlüğü yanında sekiz bandlı multispektral görüntüleme mevcuttur (Şekil 3.10). Ayrıca SWIR kanalları da mevcut olup, Uluslararası Okyanus ve Atmosferik Yönetimi (NOAA) tarafından sekiz band kısa dalga infrared (SWIR) görüntü çekimi konusunda lisanslamıştır. 12 adet CAVIS banda sahiptir. Bunlar; çöl bulutu, aerosol 1,2,3, yeşil, su1,2,3, NDVI-SWIR, bulut ve kar şeklindedir (URL-19).



Şekil 3.10 WorldView-3 uydusu (URL-20).

WorldView-3 uydusu; arazi sınıflandırmaları, afet ön hazırlığı/tepkimler, özellik çıkartımı/değişim tespiti, petrol ve gaz, madencilik, çevresel izleme ve batimetri uygulamaları içermektedir (URL-19).

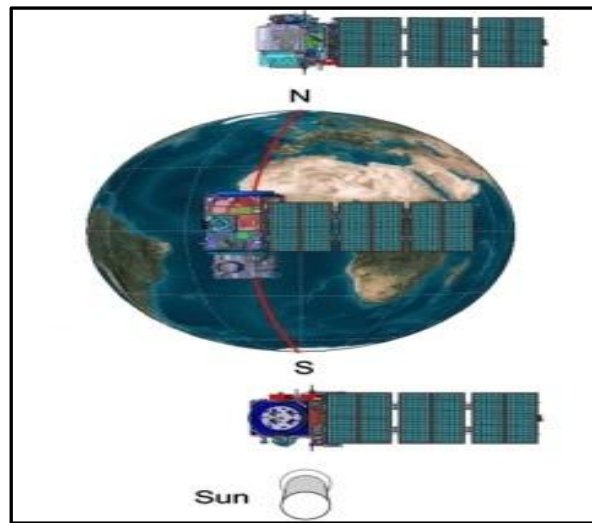
Çizelge 3.6 WorldView-3 uydusuna ait bandların özellikleri (URL-19).

Sensör Bandları	Pankromatik: 450-800 nm
	8 Multispektral: (kırmızı, yakın kırmızı, kıyasal, mavi, yeşil, sarı, yakın-IR1 ve yakın-IR2) 400nm-1040nm
	8 SWIR: 1195nm-2365nm
	12 CAVIS Bandı: (çöl bulutları, aerosol-1, aerosol-2, aerosol- 3, yeşil, su-1, su- 2, su-3, NDVI-SWIR, sirrus, bulut) 405nm - 2245nm
Sensör Çözünürlüğü (Yersel Örnekleme Aralığı)	Pankromatik (Nadir): 0.31m GSD Nadir - 0.34m 20° Off-Nadir
	Multispektral (Nadir): 1.24m Nadir, 1.38m 20° Off-Nadir
	SWIR Nadir: 3.70m Nadir, 4.10m 20° Off-Nadir
	CAVIS Nadir: 30.00m

3.3.6. Sentinel-2 Uydu Sistemi

Sentinel uydu serisi, ESA tarafından Copernicus programının operasyonel ihtiyaçları için geliştirilmektedir (URL-21). Sentinel-2 MSI, kutup yörüngeli, multispektral yüksek çözünürlüklü algılayıcıya sahip bir uydu olup tarım, ormanlar, arazi kullanımı değişikliği, arazi örtüsü değişimi, yaprak klorofil içeriği, yaprak su içeriği, yaprak alanı indeksi gibi biyofiziksel değişkenlerin haritalandırılması; kıyı ve iç suların izlenmesi, risk haritalaması gibi görevleri bulunmaktadır(URL-22).

Sentinel-2, Avrupa çapında kullanılan, yüksek çözünürlüklü, çok spektrumlu bir görüntüleme uydusudur. Aynı yörüngede ve 180° karşılıklı ikiz uydulardır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Sentinel-2 uydularının konfigürasyonu (URL-23).

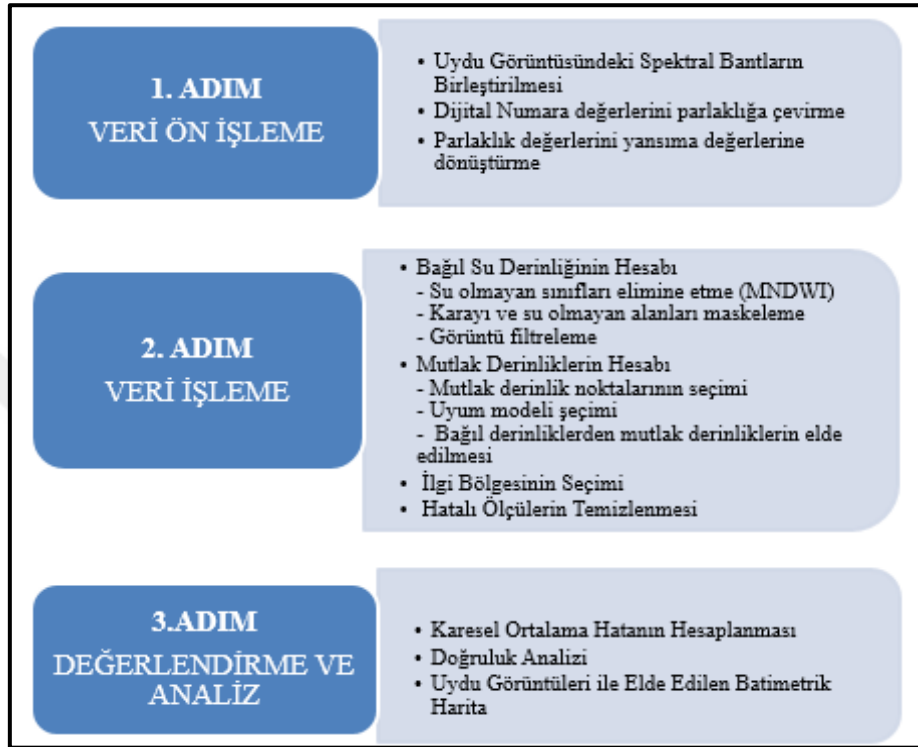
Çizelge 3.7’de yer alan Sentinel-2, 13 spektral bandı (443-236nm) kapsayan MSI, 290km swat genişliği ve 10m (dört görünür ve kızılötesi band), 20m (altı kırmızı kenar ve kısa dalga kızılötesi band) ve 60m (üç atmosferik düzeltme bandı) uzamsal çözünürlükte band taşır (URL-22). Tarama genişliği 290km'dir ve Avrupa bulutsuz bir görüntü arşivi oluşturmak için gereken süreyi azaltmaktadır. SENTINEL-2'nin spektral bandları, arazi örtüsü / değişim sınıflandırması, atmosferik düzeltme ve bulut / kar ayrımı, batimetri için veri sağlar (URL-23).

Çizelge 3.7 Sentinel-2 uydusuna ait bandların özellikleri (URL-22).

Sentinel-2 Bandları	Dalgaboyu(nm)	Konumsal Çözünürlük(m)
Band1 - Kıyı (Coastal aerosol)	443	60
Band2 - Mavi	490	10
Band3 - Yeşil	560	10
Band4 - Kırmızı	665	10
Band5 - Kırmızı Kenar	705	20
Band6 - Kırmızı Kenar	740	20
Band7 - Kırmızı Kenar	783	20
Band8 -Yakın Kızılötesi (NIR)	842	10
Band8A- Kırmızı Kenar	865	20
Band9- Su Buharı	945	60
Band10- Kısa Dalga Kızılötesi- Sirkus	375	60
Band11- Kısa Dalga Kızılötesi	610	20
Band12- Kısa Dalga Kızılötesi	190	20

3.4 UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN BAĞIL VE MUTLAK DERİNLİKLERİN ELDE EDİLMESİ

Uydu görüntülerinden batimetri verisi üretilmesi Şekil 3.12'deki gibi gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.12 İşlem adımları (Alsubaie 2012'den düzeltilerek)

3.4.1 Veri Ön İşleme

Ham uydu görüntüleri genel olarak, algılayıcıdan, güneş ışınlarının geliş açısından, topoğrafyadan ve sis, bulut gibi atmosferik şartlardan kaynaklanan hatalar içermektedirler. Bu hatalar, algılanan görüntüde objeyi temsil etmeyen yansımalar oluşturarak görüntülerin kullanımını önemli ölçüde bozarlar. Bu nedenle uydu görüntüleri kullanılmadan önce bir veri ön işleme aşamasına tabi tutulurlar (Green vd. 2000). Radyometrik düzeltme de denilen bu adımda amaç, uydu görüntülerinin bu hatalardan arındırılması ya da hata etkilerinin minimuma indirilmesidir (Ayhan vd. 2007, Kahveci 2010).

Radyometrik düzeltme işlemi ile uydu görüntülerindeki parlaklık değerleri yansıma değerlerine dönüştürülür ve bu şekilde hataları giderilen görüntüler, diğer görüntüler veya

yersel verilerle zamansal, mekânsal veya spektral olarak karşılaştırılabilir duruma getirilir (Green vd. 2000).

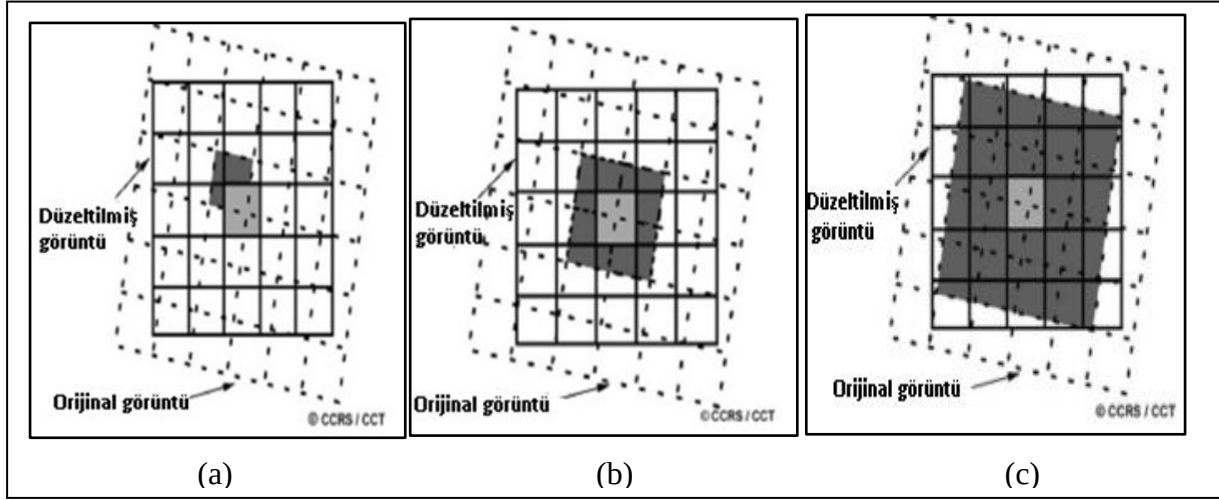
Veri ön işleme adımı 3 aşamada gerçekleştirilir.

3.4.1.1 Uydu Görüntüsündeki Spektral Bantların Birleştirilmesi

Teknolojinin gelişmesine rağmen uydu görüntüleri birtakım geometrik ve radyometrik hatalar barındırır. Coğrafi analizlerde ham görüntüleri kullanabilmek için geometrik olarak düzeltilmeleri diğer bir deyişle görüntünün referans koordinat sistemine dönüştürülmesi gerekmektedir. Dönüştürülen piksellerin gri değerlerinin yeniden hesaplanması gerekmektedir. Bu işleme yeniden örnekleme denir. Yeniden örneklemede Şekil 3.13'te yer alan en yakın komşu yöntemi, bilinear interpolasyon ve kübik katlama olmak üzere 3 çeşit yöntem kullanılır (Bayram ve Üstüner 2013).

- a) En Yakın Komşu Yöntemi (Nearest);** düzeltilen görüntüdeki yeni piksel konumuna en yakın olan orijinal görüntüdeki pikselden gelen dijital değeri kullanır. Bu en basit yöntemdir ve orijinal değerleri değiştirmez, ancak diğerleri kaybolurken bazı piksel değerlerinin kopyalanmasına neden olabilir. Yaklaşım, her düzeltilmiş piksele en yakın düzeltilmemiş pikselden bir değer atar. En yakın komşunun avantajları basitliği ve orijinal değerleri koruma yeteneğini içerir. Dezavantajları, özellikle piksellerin yeniden hizalanmasının belirgin olduğu doğrusal özellikler boyunca farkedilir konum hataları içerir.
- b) Bilineer interpolasyon;** gerçekte olduklarından daha büyük veya daha küçük gösterilen piksel değerlerini yumuşatmak için kullanılan bir yöntemdir. Bilineer filtreleme, bilinear interpolasyonu gerçekleştirmek için noktaları kullanır. Bu, bu pikseli en iyi temsil eden noktaya en yakın dört piksel arasında (genellikle pikselin orta veya sol üst kısmında) interpolasyon yaparak yapılır. Bilineer interpolasyon yeniden örnekleme, orijinal görüntüde yeni piksel konumuna en yakın olan 4 pikselin ağırlıklı ortalaması alınır.
- c) Kübik katlama;** bir görüntüdeki gri değerleri belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Bu, giriş koordinatlarına en yakın 16 pikselin ağırlıklı ortalaması ile belirlenir. Sonra bu değer çıkış koordinatlarına atanır. Bu yöntem bilinear interpolasyondan biraz daha iyidir ve en yakın komşu yönteminin ayrık görünümüne sahip değildir. Kübik katlama (Cubic), en yakın komşu yönteminin gerektirdiği hesaplama süresinin yaklaşık 10 katıdır. Bu yeniden

örnekleme, yeni çıktı piksel konumunu çevreleyen orijinal görüntüden 16 piksellik ortalama ağırlığını hesaplar (Baboo ve Devi 2010).



Şekil 3.13 a) En yakın komşuluk yöntemi, b) Bilineer enterpolasyon, c) Kübik katlama (Baboo ve Devi 2010).

3.4.1.2 Dijital Numaraları Parlaklık Değerlerine Dönüştürme

Uydu görüntü verileri için piksel parlaklık değerleri, Dijital Numara (DN) formunda sunulmaktadır. Bu dijital numaraları parlaklık değerine dönüştürme işlemi Denklem (3.1) yardımıyla yapılmaktadır.

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

Denklem (3.1)'de;

L_{λ} =Parlaklık değeri

M_L = Bandlara özel çarpımsal değer (Metaveri dosyasından alınır).

Q_{cal} = Sayısal ve kalibre edilmiş standart üretilen piksel değeri (radyometrik çözünürlüğe bağlı bir değer/DN)

A_L = Bandlara özel ilave bir değer'dir (Metaveri dosyasından alınır).

3.4.1.3 Parlaklık Değerlerinin Yansıma Değerlerine Dönüştürme

Yansıma değerinin (ρ) hesaplanması için gerekli adımlar aşağıda verilmiştir.

Adım 1 $ESUN_{\lambda}$ değerlerinin hesaplanması

$$ESUN_{\lambda} = \frac{(\pi * d^2) * RADIANCE_MAX}{REFLECTANCE_MAX} \quad 3.2$$

Denklem (3.2)'de;

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

d =Güneş ile Dünya arasındaki atmosferik birim (AU) cinsinden uzaklığı'dır.

$RADIANCE_MAX$ = En yüksek parlaklık değeri(Metaveri dosyasından alınır)

$REFLECTANCE_MAX$ = En yüksek yansıma değeri(Metaveri dosyasından alınır)

Adım 2 L_p değerlerinin hesaplanması

L_p değeri Denklem (3.3) eşitliğinden yararlanılarak bulunur.

$$L_p = \frac{M_L * DN_{min} + A_L - 0.01 * ESUN_{\lambda} * \cos Q_s}{\pi * d^2} \quad 3.3$$

Denklem (3.3)'te

DN_{min} =Uydu görüntüsündeki her band için seçilen minimum piksel değerleri

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

Q_s değeri; 90 dereceden, güneşin yükseklik açısı (Q_e) çıkarılarak bulunur (Denklem 3.4).

Q_e değeri, ilgili uydu görüntüsünün metaveri dosyasından alınabilir.

$$Q_s = 90 - Q_e \quad 3.4$$

Adım 3 Parlaklık değerlerinin yansıma değerlerine dönüştürülmesi

Parlaklık değerleri, yansıma değerlerine olan ρ değerine (4.5) eşitliği kullanılarak dönüştürülür.

$$\rho = \left[\frac{\pi * (L_{\lambda} - L_P) * d^2}{ESUN_{\lambda} * \cos Q_S} \right] \quad 3.5$$

Denklem (3.5)'te, L_{λ} yer parlaklığıdır.

Radyometrik düzeltme sonucunda, görüntüdeki piksellerin yansıma değerleri 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. Bu aşamadan sonra atmosferik düzeltmesi yapılmış bir model elde edilmektedir. Sonrasında işlem yoğunluğunun azaltılması için isteğe bağlı olarak yeniden örnekleme yapılarak ve görüntü kesilerek tekrar işleme devam edilebilir.

3.4.2 Veri İşleme

Radyometrik düzeltmesi yapılmış görüntüden bağıl ve mutlak su derinliklerinin hesabının yapılabilmesi için görüntüdeki su alanları kullanılmalıdır. Bu nedenle suyun dışındaki alanlardaki yansıma değerlerinin hesaplamaya katılmaması için görüntü maskelemesi yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu işlem öncelikle su alanlarının diğer alanlardan ayrılması ve sonrasında da su alanları haricindeki alanların maskelenmesi şeklinde iki aşamadan oluşmaktadır. Maskeleme işleminin ardından, sadece su alanlarındaki piksellerin farklı spektral bandlarındaki yansıma değerleri ve oranları kullanılarak bağıl veya mutlak derinlikler elde edilebilir.

3.4.2.1 Su Alanlarının Diğer Alanlardan Ayrılması (Su İndeksleri)

Spektral indeks verileri farklı yüzeylerin spektral karakteristiklerini göz önünde bulundurarak bu yüzeylere ait özellikleri öne çıkarmak için iki ya da daha fazla görüntü kullanılarak üretilen verilerden meydana gelir. Su indeksleri, farklı su yüzeylerini ve bu yüzeylerde oluşan değişimleri tespit etmek amaçlı farklı indeks yaklaşımları içerir (Algancı 2018).

Band oranlama, görüntüdeki her piksel için bir bandtaki sayısal değerlerin başka bir bandta bulunan değerlere bölünerek oran görüntünün oluşturulma işlemidir. Yeryüzüne ait farklılıkların tespit edilmesinde çok sık kullanılan bir yöntemdir. Farklı spektral bandlardan gelen verilerin oranlanması ile yeni görüntü oluşur. Böylelikle arazi örtüsünde değişimin olduğu yerleri daha belirgin hale getirir. Band oranlama yapabilmek için band seçimi işlemi

çok önemlidir. Bu işlem yüzey materyalinin spektral özelliklerine ve diğer yüzey örtü çeşitleri ile olan rölatif ilişkiye bağlıdır (Boyacı vd. 2015).

Su alanlarının bitki örtüsü, toprak vb. diğer alanlardan ayırmak için literatürde iki indeks kullanılmaktadır. Bunlar; NDWI (Normalleştirilmiş Su Fark İndeksi) ve MNDWI (Modifiye Edilmiş Normaleştirilmiş Su Fark İndeksi) indeksleridir. Her iki indeks de ışığın, elektromanyetik spektrumun yeşil bölgesinde yansıtma ve kızıl ötesi (NIR) bölgesinde emme özelliğini kullanarak, su ve sulak alanların belirginleştirilmesi esasına dayanmaktadır (Xu 2006; Verdin 1996;).

NDWI indeksi, su yüzeylerinin toprak ve bitki örtüsünden ayırmak amacıyla yeşil dalga boyu ve yakın kızılötesi dalga boyunun farkı ile toplamına oranlanması sonucu oluşturulur.

$$NDWI = \frac{Yeşil\ Band(G) - Yakın\ Kızılötesi\ Band(NIR)}{Yeşil\ Band(G) + Yakın\ Kızılötesi\ Band(NIR)} \quad (3.6)$$

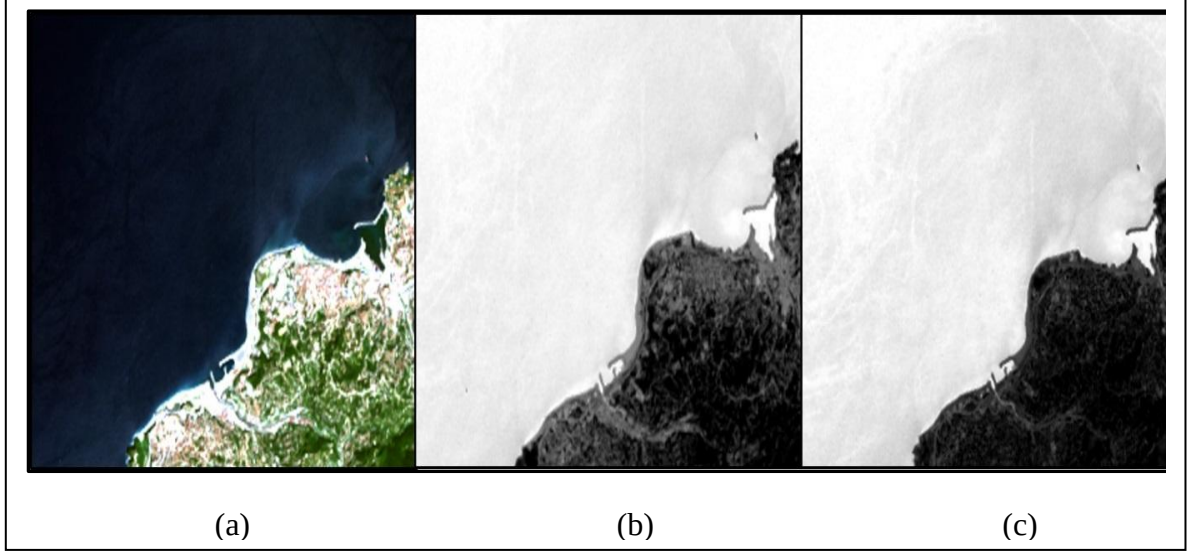
Bu oranlama ile yeşil dalga boyları kullanarak suyun yansımaları en üst düzeye çıkarmak, NIR'in sudaki düşük yansımaları en aza indirmek, bitki örtüsünün ve toprağın özelliklerinden dolayı NIR'in yüksek yansımalarından faydalanılması amaçlanmaktadır (McFeeters 1996). Sonuç ürün birimsiz olarak -1 ve +1 arasındaki değerler ile temsil etmektedir. Buradaki pozitif değerler su ve sulak alanları, negatif değerler ise diğer alanları ifade etmektedir (Şekil 3.14).

Bununla birlikte, NDWI yerleşik araziden gelen sinyali etkili bir şekilde bastıramaz, böylece çıkarılan su özellikleri hala yerleşik arazi gürültüsüyle karıştırılır. Bu nedenle, endeksin iyileştirilmesi gerekir ve bu sorunu çözmek için NDWI değiştirilir (Xu 2006).

MNDWI indeksi, su ayrımı için yeşil dalga boyu ve orta kızıl ötesi dalga boyu farkı ile toplamının oranlanması esasına dayanan bant oranlama hesabı gerçekleştirilmektedir (Xu 2006).

$$MNDWI = \frac{Yeşil\ Band(G) - Orta\ Kızılötesi\ Band(MIR)}{Yeşil\ Band(G) + Orta\ Kızılötesi\ Band(MIR)} \quad (3.7)$$

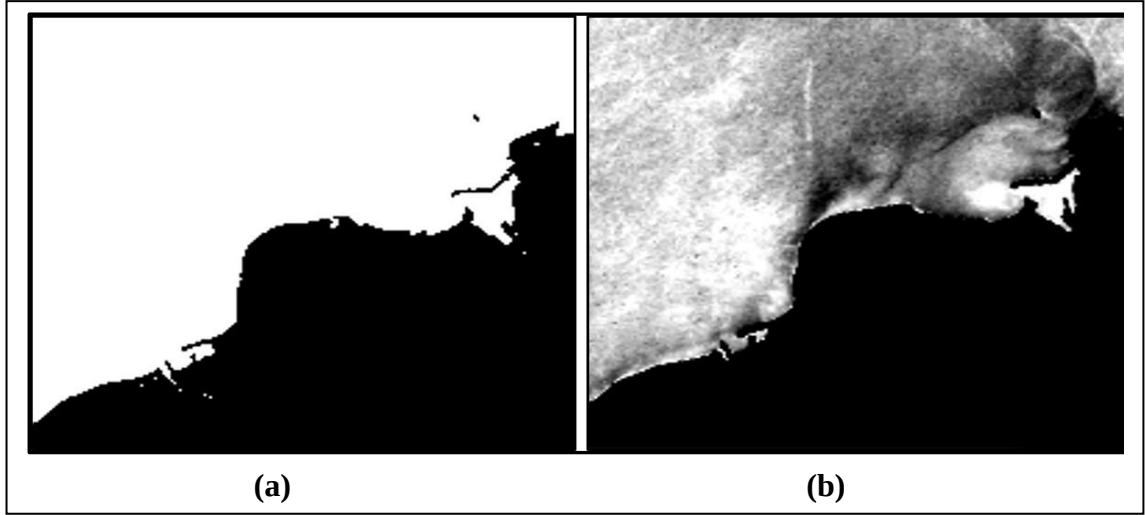
Ayrıca, Xu (2006) geliştirdiği MNDWI indeksi sonuçlarının suyun özelliklerinin güçlendirilmesinde ve ortaya çıkarılmasında NDWI'a göre daha başarılı sonuçlar verdiği ortaya koymuştur. Bu oranlamadan elde edilen görüntü şekil 3.14' de verilmiştir.



şekil 3.14 a) Normal görüntü, b) NDWI görüntüsü, c) MNDWI görüntüsü

3.4.2.2 Karayı ve Su olmayan Alanları Maskeleme

Maske, 0 ve 1 değerlerinden oluşan binary görüntüdür. Maskelemenin ilk kullanım amacı, ilgilenilen bölgeyi izole etmektir. Böylelikle bu alan grntsnin geri kalanından kolayca ayırt edilebilir. Maske için eşik, su kütlesinin kapsama alanını maksimize ederken, kara ve su olmayan alanlar gibi istenmeyen pikselleri en aza indirger (Alsubaie 2012). Bu işlem için Su indeksi uygulanmış görüntü üzerinde su alanlarına 1 ve diğer alanlara 0 değer vererek biçimde bir maske oluşturulur. Daha sonra bu maske su indeksi ile çarpılarak, su alanlarındaki piksel değerlerinin korunmasını ve diğer alanların piksel değerlerinin 0 olmasını sağlar (şekil 3.15).



Şekil 3.15 a) Oluşturulan maske, b) Maske uygulanmış su indeksi görüntüsü

3.4.2.3 Bağlı Su Derinliğinin Hesabı

a) Logaritmik Doğrusal Dönüşüm (LLT)

Lyzenga (1978, 1981, 1985) tarafından geliştirilen bu algoritma, ilk başlarda su ve su tabanı yansımalarının optik özelliklerinin sabit olduğu durumlarda, yansıtılan parlaklık ve su derinliği arasındaki ilişkiyi belirlemek için “su özelliklerinin homojen olduğu ve zayıflama katsayısının her zaman sabit olduğu” ve “ışığın su kolonundaki derinliğinin üssel olarak azaldığı (Beer Yasası)” gibi iki varsayımdan hareket ederek tek bir band için oluşturulmuştur.

$$R_W = (A_d - R_\infty)e^{(-gz)} + R_\infty \quad (3.8)$$

Denklemden; R_w suyun yansıması, R_∞ derin su kolonunun yansıması, A_d taban yansıtma gücü, z derinlik ve g hem düşük hem de dik ışık için zayıflama katsayılarının bir fonksiyonudur.

Denklem (3.8), su derinliğini yansıtma gücü olarak tanımlamak için yeniden düzenlenirse, tek bir spektral bant için batimetrik model elde edilir.

$$z = g^{-1}[\ln(A_d - R_d) - \ln(R_W - R_\infty)] \quad (3.9)$$

Lyzenga (1978, 1981, 1985) daha sonra, su ve su taban yansımasının optik özelliklerinin sabit olmadığı durumlar için algoritmayı, her piksel için su derinliğini elde etmek amacıyla dalga

bandlarından bir veya daha fazlasını kullanarak geliştirmiş ve standart doğrusal dönüşüm algoritması adını alan deneysel bir yöntem ortaya koymuştur.

$$z = a_0 + a_i X_i + a_j X_j \quad (3.10)$$

Denklemden; a_0 , a_i ve a_j sabitleri çoklu doğrusal regresyonlardan belirlenir. X , belirli bir bandtaki (i, j) dönüştürülmüş parlaklıktır.

İki spektral bant arasındaki taban yansıma oranının, verilen bir alan içindeki tüm taban tipleri için sabit olduğunu varsayılırsa ve Denklem 3.10'da ifade edilen parlaklık değerlerini doğrusallaştırmak için denklem yeniden düzenlenirse; iki (veya çoklu) spektral bant için bir batimetrik model elde edilebilir (Alsubaine 2012, Su vd. 2008).

$$z = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \ln [R_w(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i)] \quad (3.11)$$

Denklemden; a_i (i = 0,1,,N) sabit katsayılar, λ_i spektral band, N spektral bandların sayısı, $R_w(\lambda_i)$; λ_i spektral bandı için atmosferik ve güneş yansıması düzeltmelerinden sonra uzaktan algılama parlaklığı ve $R_\infty(\lambda_i)$; λ_i spektral bandı için derin su parlaklığıdır.

b) Logaritmik Oransal Dönüşüm (LRT)

Stumpf vd. (2003), sığ su alanlarının derin sulara göre daha düşük yansıma özelliğine sahip olma problemi nedeniyle alternatif bir algoritma geliştirmek için ilk adımı atmıştır. Bu model, her bandın farklı bir su kütlesi emilimine sahip olduğu temel prensibine dayanmaktadır.

Farklı emilim seviyesi, kavramsal olarak bandlar arasında bir oran üretecektir ve bu oran derinlik değiştiğinde aynı anda değişecektir. Teorik olarak, oran arttığında derinlik de artacaktır. Daha yüksek emme seviyesine sahip olan band, derinlik arttığında sürekli olarak azalır. Yani derinlik arttıkça, her iki bandın yansıması azalırken, daha yüksek emme seviyesine sahip olan (yeşil) bandın, düşük emme seviyesine sahip olan (mavi) bandla orantılı olarak daha hızlı azalacaktır. Buna göre mavi bandın yeşil banda oranı artacaktır. Aşağıdaki denklem (3.12), LRT algoritmasını göstermektedir.

$$z = m_1 \frac{\ln(nL(\lambda_{MAV}))}{\ln(nL(\lambda_{YEŞİL}))} - m_0 \quad (3.12)$$

Burada;

n, m_1, m_0 = model için sabit katsayılar

$L(\lambda_{MAVİ}), L(\lambda_{YEŞİL})$ = Mavi ve yeşil bandların parlaklık değerleri.

Stumpf vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada, su derinliğini belirlemek için kullanılan beş parametrenin ayarlanması ve su tabanının düşük bir yansıtma gücü içerdiği derinliklerin ölçülememesi gibi sorunların olduğu görülmüştür. Bu sorunları gidermek için iki ayarlanabilir parametreye sahip ve düşük yansıtma gücüne sahip özelliklere uygulanabilen yansıma oranlarını kullanarak ampirik bir çözüm geliştirilmiştir. LLT (Logaritmik Doğrusal Dönüşüm) (Lyzenga vd. 1978) ile LRT (Logaritmik Oran Dönüşümü) algoritmalarıyla, IKONOS uydu görüntülerinin Lidar Batimetrisine göre analizi ile karşılaştırıldığı belirtilmiştir.

Yukarıda bahsedilen algoritmalar karşılaştırıldığında; her iki algoritmanın da 10-15m'den daha az su derinliklerinde tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bununla birlikte, LLT'nin, 15 m'den daha büyük derinliği ayırt edemediği; LRT'nin ise temiz suda 25 m'den daha büyük sudaki derinlikleri belirlediği ve farklı alanlar arasında daha fazla kararlılık gösterdiği belirtilmiştir. Aynı zamanda ışığın saçılmasında ve su bulanıklığında LRT'nin LLT'den biraz daha iyi performans gösterdiği anlaşılmıştır. LRT algoritması biraz gürültülü olup ve 15–20 m'den büyük derinliklerinde (4-5 pikselden küçük yapılar) her zaman yeterince çözüm üretemeyeceği belirtilmiştir. Ayrıca LLT algoritmasının 5 ayarlanabilir parametreye sahip olması ve bunların belirlenmesinin güçlüğü, 2 ayarlanabilir parametreye sahip LRT'nin daha kolay uygulanabilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, LRT modelinin LLT modelinden daha iyi sonuçlar içerdiği görülmüştür (Stumpf vd. 2003).

3.4.2.4 Görüntü Filtreleme

Görüntü filtreleme, görüntüde bulunan farklı fiziksel özellikler arasındaki ayrımı artırarak görüntünün görsel olarak yorumlanabilmesi gücünü artırmaktır. Bu işlem, sayısal filtreleme matrisleri kullanılarak gerçekleştirilir. Sayısal filtreleme yöntemi ile her pikselin yeni gri renk tonları hesaplanmaktadır. Renkli görüntülerde filtrelemenin uygulanabilmesi için ilk olarak gri tonlu görüntüye dönüştürülmelidir. Piksellerin yeni gri tonları ortaya çıkarılacak detaya ve

komşu piksellere bağlıdır. Uzaysal frekans filtreleme de olarak adlandırılan bu işlemde, bir görüntüde istenilen detayı ortaya çıkarabilmek için; yüksek, orta ve düşük frekanslı filtrelerden biri kullanır. Filtre, 3x3, 5x5 ya da 7x7 piksel boyutlu sayı matrisinden oluşmaktadır ve uygulanacak olan filtreleme yöntemine göre bu sayı matrisi farklı değerlerden oluşmaktadır.

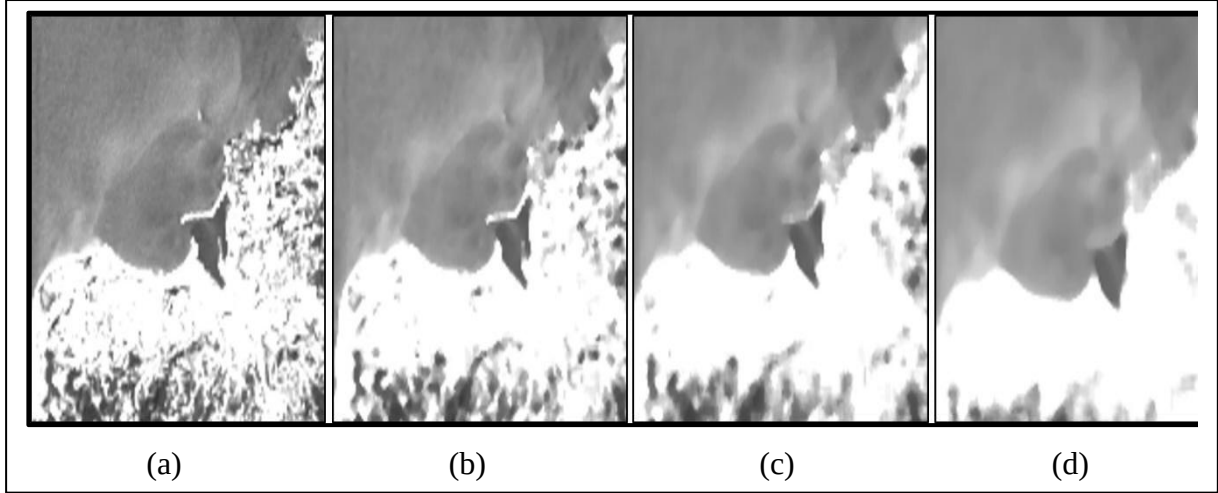
Filtreleme işlemi bu filtre matrisinin görüntü üzerindeki bütün piksellerde dolaştırılıp uygulanması ve her piksel için filtre elemanları ve piksel değerleri ile yeni gri ton değerleri hesaplanması şeklinde gerçekleştirilir. Matriste bulunan elemanlar, belirli pikseller yönünde bu ortalamaı ağırlıklandırmak için kullanılmaktadır. Yüksek frekansları vurgulayan ve düşük frekansları bastıran filtreler yüksek geçirgenli filtreler olarak adlandırılmaktadır. Yüksek geçirgenli filtreler açık ve koyu tonlu detaylar arasındaki farkı daha da belirginleştirirken alçak geçirgenli filtreler açık ve koyu detaylar arasındaki ton farkını azaltırlar. Alçak ve yüksek geçirgenli filtreleri uygulamanın en basit yolu uzaysal komşuluk ortalaması ile yapılır. Örnek olarak bir alçak geçirgenli filtre, orijinal görüntünün her pikselinin etrafındaki piksellerin ortalaması ve bu piksellerin ortalamasının işlenmiş görüntüde piksel gri renk tonu düzeyi olarak kullanılması ile uygulanmaktadır. Yüksek geçirgenli filtre ise, orijinal görüntüden alçak geçirgenli filtre ile filtrelenmiş bir görüntünün çıkarılması ile ya da merkezdeki piksel için pozitif, etrafını çevreleyen pikseller için negatif ağırlıklara sahip olan bir nokta yayılım fonksiyonu kullanılarak döndürülmesi ile oluşturulabilir (Altuntaş ve Çorumluoğlu 2011).

Ortalama filtreleme, görüntüleri yumuşatma yöntemi olup bir piksel ve diğeri arasındaki yoğunluk değişiminin miktarını azaltır. Genellikle görüntüdeki gürültüyü azaltmak için kullanılır (URL-24).

Görüntüdeki gürültüyü azaltmak için kullanılan diğeri bir filtre olan medyan filtre, görüntüde yararlı ayrıntıların korunmasına ilişkin ortalama filtreden daha iyi bir iş çıkarır. Medyan filtrenin asıl görevi, pikselin komşu pikseli temsil edip etmediğine karar vermektir. Özellikle batimetrik çalışmalarda tercih edilir. (URL-25, URL-26).

Gauss filtresi ise ortalama filtrenin Gauss dağılımını kullanarak biraz daha değiştirilmiş hali olarak bilinir. Gauss filtre ile sonsuz bir transfer fonksiyonuna karşılık mekansal alanda sonlu bir pencerede (tarama penceresi) filtreleme yapılabilir (Perihanoğlu 2015).

Filtre boyutu arttıkça görüntü yumuşamakta ve gürültüler giderilmektedir ancak detaylar özellikleri kaybolmaktadır (Şekil 3.16). O nedenle detaylar ile ilgili çalışmalar yaparken düşük boyutlu filtreler kullanılmalıdır.



Şekil 3.16 Farklı boyutlu medyan filtre uygulamaları. a) Orijinal görüntü,

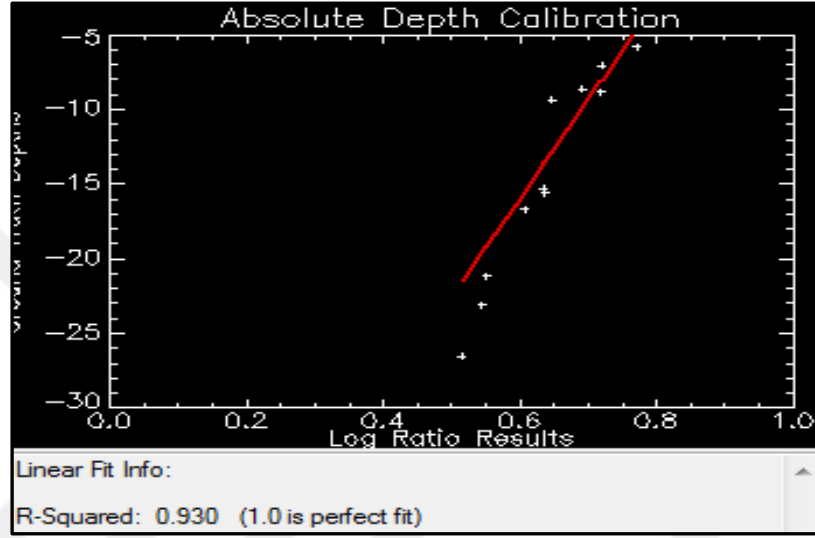
b) 3x3 medyan filtre, c) 5x5 medyan filtre, d) 7x7 medyan filtre

3.4.2.5 Mutlak Derinlik Değerlerinin Hesaplanması

Bağıl derinlikler hesaplandığında, her bir piksel 0 ile 1 aralığında değerler alırlar. Bu şekilde oluşan görüntüler bize sadece seçilen bölgenin batimetrisi hakkında genel bir görüntü verirler. Mutlak derinlik bilgileri olmadığı için asla navigasyon ve seyir amaçlı kullanılamazlar. Bunun için bağıl derinlikler ile gerçek derinlikler arasında ilişki kurulması gerekir. Bu işlem yer kontrol noktaları alınması ve regresyon modeli kurularak gerçekleştirilir. Bir regresyon modelinin kurulabilmesi için en az 3 yer kontrol noktası alınmalıdır. Ancak modelin uyumu ve tutarlılığı açısından daha fazla nokta alınmalıdır. Yer kontrol noktalarının seçiminde, bölgeye homojen dağılımına ve bölgenin her bir derinlik seviyesini temsil edebilmelerine dikkat edilmelidir.

Regresyon modeli olarak; Lineer (doğrusal), en küçük sapma veya en küçük kareler (polinomal) modellerinden biri seçilebilir. Burada modelin uyumu dikkate alınmalıdır. Bunun için belirleme katsayısı (R^2) 1'e en yakın çıkan model tercih sebebidir. Ancak batimetrik veriler söz konusu olduğunda bu model her zaman uygun olmayabilir. Çünkü regresyon

eğrisi çizildiğinde alınan yer kontrol noktaları çoğu zaman bir deseni takip ederler (Şekil 3.17). Sığ pikseller logaritmik oran dönüşümünde geniş bir aralığı temsil ederler. Su derinleştikçe eşit olarak karanlık hale gelirler bu nedenle dar bir oran değerinde yer alırlar. Örneğin; oran değeri 1 olan bir piksel, -20m veya -1000m derinliğe sahip olabilir. O nedenle noktaların tümüne uyacak bir modelden ziyade sığ derinliğe sahip noktalara uyacak bir model seçilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Çünkü derin pikseller hataya meyillidir (URL-27)



Şekil 3.17 Regresyon modeli uyum çizimi.

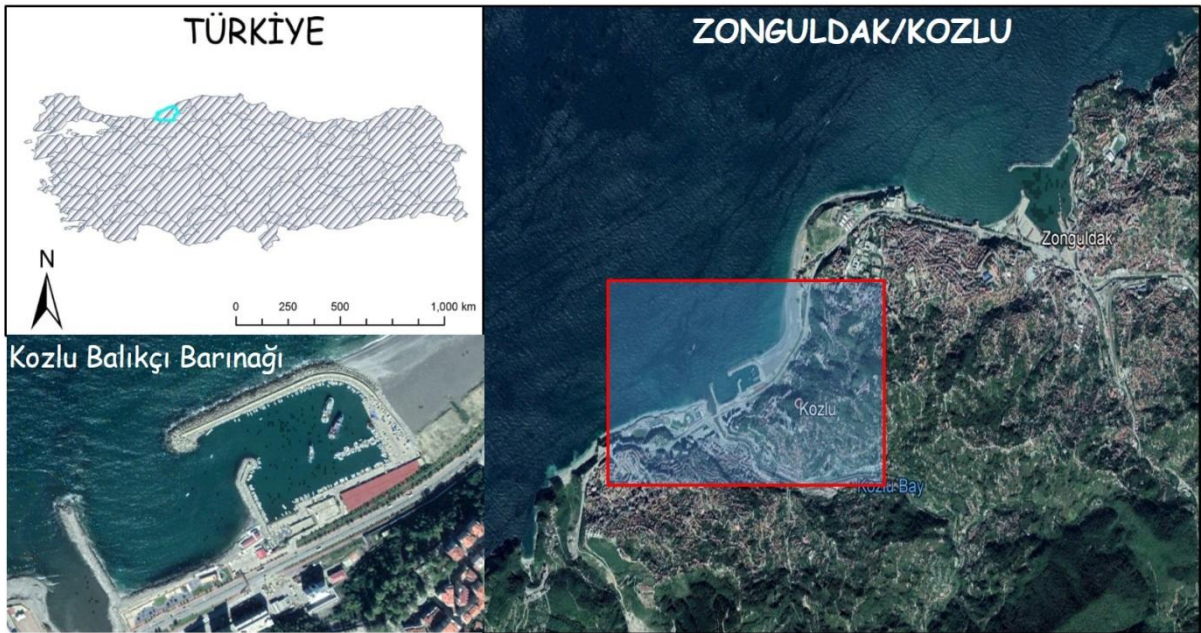
BÖLÜM 4

UYGULAMA

Bu bölümde; çalışma alanının genel özellikleri, çalışmada kullanılan veriler ve yöntemler hakkında bilgiler sunulmuştur. Çalışma alanına ilişkin Akustik iskandil yöntemi kullanılarak yapılan batimetrik veriler (derinlikler) referans veri olarak kabul edilerek, uydu görüntülerinden elde edilen batimetrik veriler (derinlikler) ile karşılaştırılmış, analiz edilmiş ve çalışma alanının uydu görüntülerinden elde edilen batimetrik haritası oluşturulmuştur.

4.1 ÇALIŞMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanı olarak seçilen Kozlu Balıkçı Barınağı, Zonguldak ilinin Kozlu ilçesinde, $31^{\circ}44'17.59''$ ve $31^{\circ}45'1.68''$ Doğu boylamları ile $41^{\circ}26'13.66''$ ve $41^{\circ}26'43.51''$ Kuzey paralelleri arasında yer almaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Kozlu Balıkçı Barınağı.

Barınağın yapımına 1995 yılında başlanmış ve 2009 yılında tamamlanarak hizmete açılmıştır. Daha sonra hem barınağın yanında bulunan Kozlu deresinin alüvyonal etkilerinden hem de bölgede yıkım etkisine sahip olan kuzeybatı rüzgarından (Karayel) barınağı korumak için 2012 yılında 310m uzunluğunda koruma mendireği yapımına başlanmış ve 2014 yılında tamamlanmıştır. Bu haliyle barınak; 500m ana, 135 m tali mendirek ile korunarak 42.000 m² korunmuş su alanı yaratmıştır. Ayrıca barınak -2m derinliğinde 180m, -4m derinliğinde 60m, -5m derinliğinde 60m olmak üzere 300m’lik rıhtıma, 82m kazıklı iskeleye ve 60m çekek yerine sahiptir (Şekil4.2).

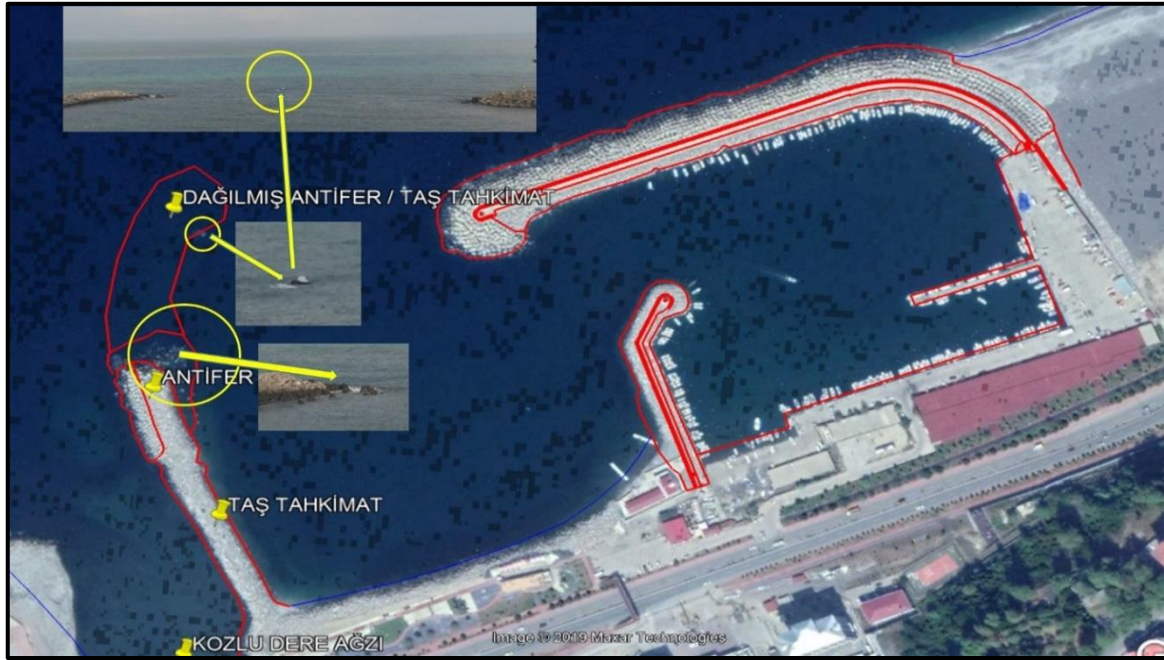


Şekil 4.2 Kozlu Balıkçı Barınağı elemanları.

18.01.2018 tarihinde Karadeniz bölgesinde meydana gelen şiddetli fırtına, Kozlu balıkçı barınağını da etkilemiş ve 10m yüksekliğine ulaşan dalgalar barınağın koruyucu mendireğini aşarak yaklaşık 200m’lik kısmının yıkılmasına sebep olmuştur. Yıkılan kısımdaki taş tahkimat deniz tabanına dağılmıştır. Dağılan tahkimat liman girişi civarında gözle görülebilir bir şekilde kaya kütleleri oluşturmuş ve hala limana giren ve çıkan deniz taşıtları için tehlike oluşturmaya devam etmektedir (Şekil 4.3)

Bu nedenle 11.02.2018 tarihinde, barınak bölgesinin fırtına sonrası deniz dibi topoğrafyasının belirlenebilmesi için Ünal Harita tarafından Akustik iskandil yöntemi ile batimetrik harita

üretimi çalışması yapılmıştır. Yapılan bu çalışma referans verisi olması açısından çalışma alanının seçiminde de etkili olmuştur.

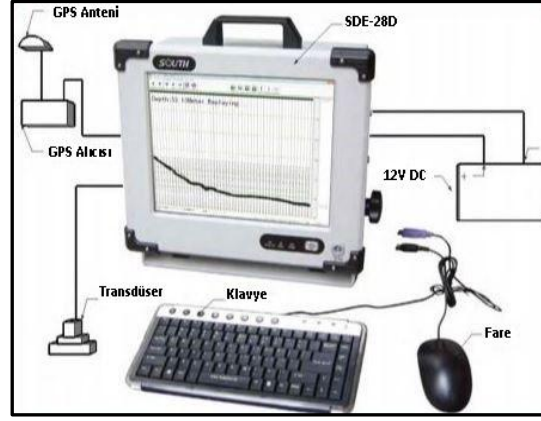


Şekil 4.3 Kozlu Balıkçı Barınağı güncel durum (fırtına sonrası).

4.2 MATERYALLER

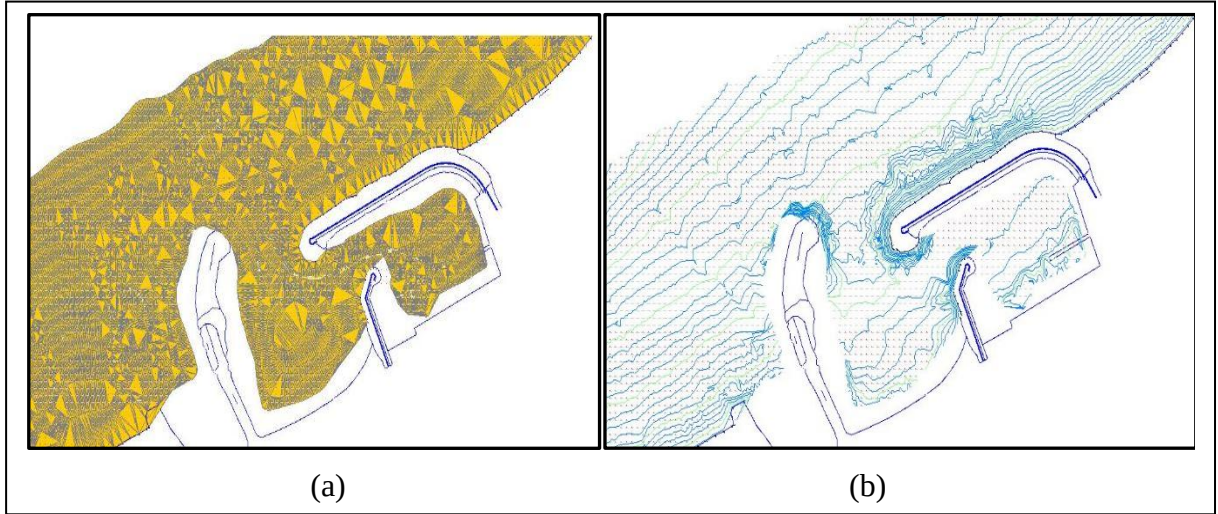
4.2.1 Referans Model

Çalışmada kullanılan referans batimetrik veriler, 11.02.2018 tarihinde Ünal Harita Mühendislik tarafından ± 10 cm doğruluğunda yapılan çalışma ile elde edilmiştir. Yapılan batimetrik çalışmada veriler; 0.01m çözünürlüklü, 200Khz frekansına kadar çıkabilen ve bu frekansta 300m'ye kadar yüksek hassasiyetli derinlik ölçebilen Şekil 4.4'de yer alan SOUTH SDE-28D tek frekanslı dijital akustik iskandil cihazı kullanılarak elde edilmiştir (URL-28).



Şekil 4.4 SOUTH SDE-28D akustik iskandil cihazı (URL-28).

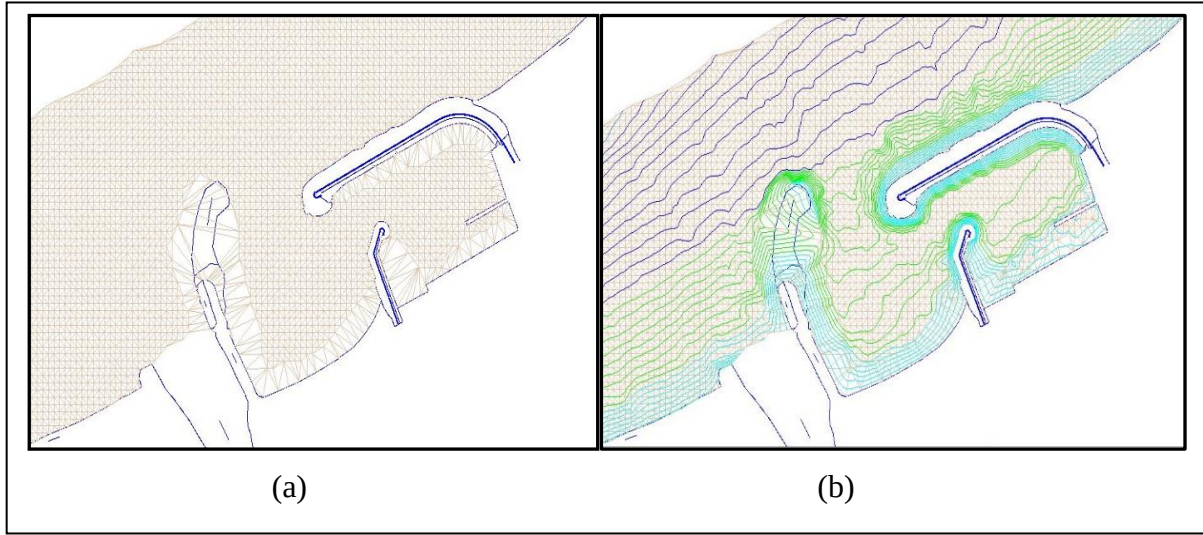
Çalışmada ortalama deniz seviyesi (TUDES verisi), resmi olmayan yerel istasyon verisi kullanılarak 0.69m alınmış ve sonuç ürün olarak elde edilen batimetrik model ve harita Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5 a) Akustik iskandil ile elde edilen batimetrik model, b) Akustik iskandil ile elde edilen batimetrik harita

Şekil 4.5’den de görülebileceği gibi barınak mendireklerinin yakınlarında, yıkılmış- dağılmış taş tahkimatın bulunduğu bölgelerde ve kıyıya yakın bölgelerde akustik iskandil verisi alınamadığı için boşluklar oluşmakta ve bu da modeli bozmaktadır. Ayrıca ortalama deniz seviyesi çalışmanın yapıldığı tarih olan 11.02.2018 için Amasra istasyonundan alınan 15 dakika aralıklı verilere göre ortalama 0.588m olduğu belirlenmiştir.

Bu nedenle liman mendireklerinin sınırlarına ortalama deniz kotu verilerek ve liman içinde boşluk kalmış iskele noktalarına ip iskandil yöntemi ile ölçü yapılarak modeldeki boşluklar tamamlanmış ve bu noktalarda modele dahil edilerek düzeltilmiş batimetrik model ve batimetrik harita oluşturularak bundan sonraki işlemlerde bu model referans alınmıştır (Şekil4.6).



Şekil 4.6 a) Düzeltilmiş batimetrik model, b)Düzeltilmiş batimetrik harita

4.2.2 Uydu Görüntüsü Seçimi

Yapılan çalışmada hem açık kaynaklı ve ücretsiz olması hem de yapılan literatür çalışmalarında sıklıkla kullanıldığı görüldüğü için Landsat 8 uydusu OLI sensörünün 30m konumsal çözünürlüklü, 0.433 μm ila 2.300 μm spektral aralığındaki yedi spektral bandı kullanılmıştır. Görüntü seçimi yapılırken, referans alınan tarihe yakınlığına ve bulutluluk oranının en az olmasına dikkat edilerek, birçok arşiv görüntüsü incelenmiş ve 15.08.2018 tarihli görüntünün en uygun görüntü olduğuna karar verilmiştir.

Sonuç olarak bu görüntü Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) sitesinden ücretsiz olarak temin edilmiştir (URL-2).

4.2.3 Yazılım Seçimi

Veri ön işleme, veri işleme ve uydu görüntüsünden çalışma alanının bağıl ve mutlak derinlik hesabı işlemleri bir uzaktan algılama ve görüntü işleme yazılımı olan ENVI Classic 5.3

programında yapılmıştır. Akustik iskandil ile elde edilen referans derinlikler ile hesaplanan mutlak derinliklerin karşılaştırılması Microsoft Excel ortamında yapılmış, haritalama işlemleri için Netcad 7.7 programından yararlanılmıştır. Oluşturulan görüntünün sayısal arazi modelleri kullanılarak analizi ve elde edilen derinliklerin görselleştirilmesi için Surfer15 programı kullanılmıştır.

4.3 YÖNTEM

Çalışma birbirini takip eden dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

Veri ön işleme olarak adlandırılan birinci adımda; 15.08.2018 tarihli Lansat 8 uydu görüntüsünün çalışmanın amacına uygun olan spektral bandları birleştirilmiş ve görüntüdeki DN değerleri yansımaya değerlerine dönüştürülerek görüntüye radyometrik düzeltme getirilmiştir.

İkinci adım olan veri işleme aşamasında görüntüler ENVI Classic 5.3 yazılımının SPEAR Tools modülü içerisinde bulunan Relative Water Depth alt programı içerisinde çeşitli band kombinasyonlarında değerlendirilmiş ve her bir kombinasyon için ayrı ayrı bağıl ve mutlak derinlikler elde edilmiştir.

Üçüncü adımda, her bir kombinasyondan elde edilen mutlak derinlik verileri referans modeldeki karşılıkları ile karşılaştırılarak yine her bir kombinasyondan bulunan mutlak derinliklerin karesel ortalama hataları bulunmuştur. Çıkan sonuçlar yorumlanarak, en küçük karesel ortalamaya sahip iki band kombinasyonunun ortalaması bu çalışmada elde edilen en uygun batimetrik veri olarak kabul edilmiştir.

Dördüncü ve son adımda, görselleştirme ve analiz işlemleri yapılarak. Seçilen alanın batimetrik haritası oluşturulmuştur.

Bu adımların uygulanması sırasında en uygun veri setini bulabilmek için ilk aşamadan itibaren olası tüm kombinasyonlar göz önüne alınarak işlem yapılmıştır.

4.3.1 Veri Ön İşleme

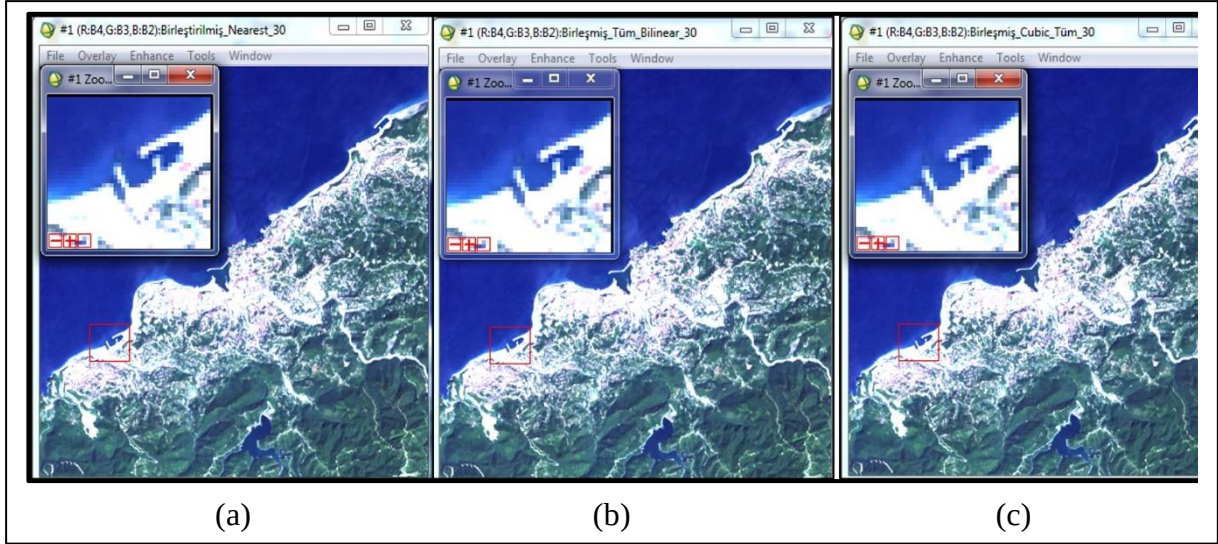
4.3.1.1 Uydu Görüntüsündeki Spektral Bantların Birleştirilmesi

Çalışmada 15.08.2018 tarihinde USGS internet sitesinden temin edilen Landsat 8 uydu görüntüsünde yer alan 11 bandlı multispektral veri seti içerisinde en uygun Çizelge 4.1’de yer alan 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 bandları birleştirilmiştir.

Çizelge 4.1 Landsat 8’in seçilen band özellikleri (URL-9).

Spektral Aralık	Dalgaboyu	Konumsal Çözünürlük
Band1 - Kıyı/ Aerosol	0.433 - 0.453 μm	30 m
Band2 - Mavi	0.450 - 0.515 μm	30 m
Band3 - Yeşil	0.525 - 0.600 μm	30 m
Band4 - Kırmızı	0.630 - 0.680 μm	30 m
Band5 –Yakın Kızılötesi	0.845 - 0.885 μm	30 m
Band6 - Kısa Dalga Kızılötesi	1.560 - 1.660 μm	30 m
Band7 - Kısa Dalga Kızılötesi	2.100 - 2.300 μm	30 m

Birleştirme işlemleri çeşitli yeniden örnekleme yöntemleriyle yapılabilir. Bu yöntemler en yakın komşuluk yöntemi, bilineer enterpolasyon ve kübik katlamadır. Çalışmada, bu yöntemlerin batimetrik çalışmalardaki etkilerini görebilmek adına her üç yöntem ile de birleştirme ve yeniden örnekleme yapılmıştır (Şekil 4.7). Elde edilen bu üç görüntü daha sonraki işlemlerde de ayrı ayrı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.7 Landsat 8 uydu bandlarının birleştirilmiş ve yeniden örneklenmiş görüntüsü, a) En yakın komşuluk, b) Bilineer enterpolasyon, c)Kübik katlama.

4.3.2.2 Radyometrik Düzeltme

Landsat 8 uydu verisinin ham verileri DN olarak kaydedilmektedir. Bu DN değerlerinin çalışmada kullanılması için gerekli olan radyometrik düzeltmeleri ENVI Classic 5.3 yazılımı kullanılarak, Canty (2014)’e göre hesaplanmıştır.

a) Dijital Numaraları Parlaklık Değerlerine Dönüştürme

Landsat 8 uydu görüntüsünde birleştirilen yedi banda ait parlaklık değerlerinin hesaplanması için Denklem (3.1)’den yararlanılmıştır.

L_λ değeri hesaplanırken kullanılan M_L ve A_L değerleri Landsat 8 metaveri dosyasından alınmıştır (Çizelge 4.2). Böylece ENVI Classic programında “Band Math” modülü kullanılarak (3.1) eşitliği ile DN değerleri parlaklık değerlerine dönüştürülmüştür (Çizelge 4.2).

b) Parlaklık Değerlerinin Yansıma Değerlerine Dönüştürme

Öncelikle, her bant için $RADIANCE_MAX$ ve $REFLECTANCE_MAX$ değerleri Landsat 8 uydu görüntüsünün metaveri dosyasından alınarak, Denklem (3.2)’e göre her bandın $ESUN_\lambda$

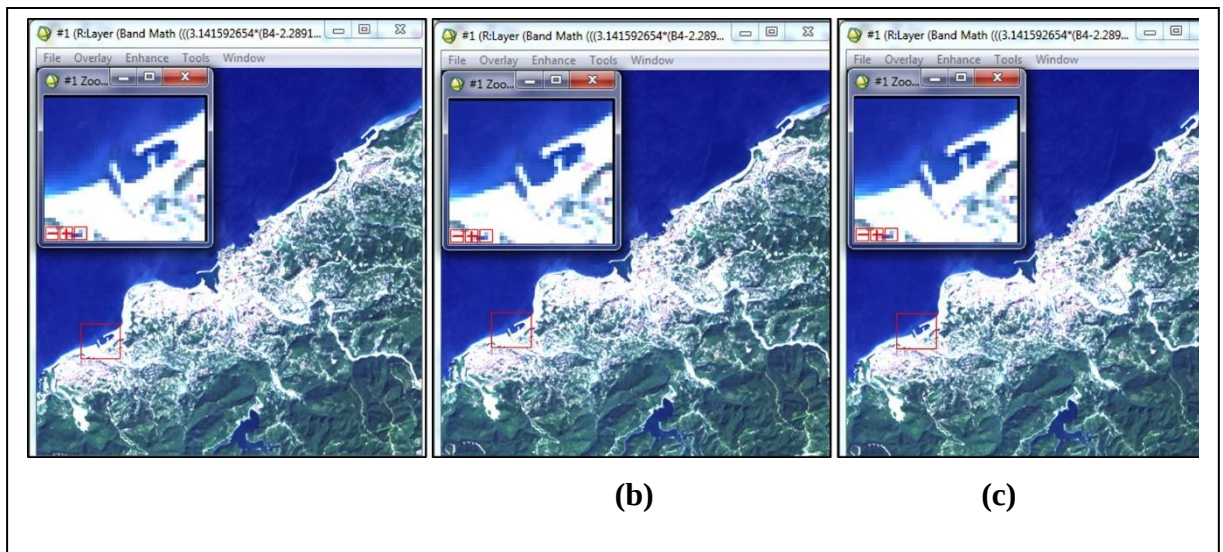
değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.2). Daha sonra Denklem (3.3) yardımıyla L_p değerleri bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Son olarak, yansımaya değerlerini veren ρ değerleri, Denklem (3.5) yardımı ile parlaklık değerlerinden elde edilmiştir. L_p ve ρ hesaplamasında kullanılan denklemlerde yer alan Q_s değeri, Landsat 8 uydu görüntüsünün metaveri dosyasından alınan güneşin yükseklik açısı (Q_e) değerinin 90 dereceden farkı olacak şekilde Denklem (3.4) kullanılarak elde edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Parlaklık ve yansımaya değerlerinin hesaplanması için gerekli değerler.

	λ_{ort}	ML	AL	DNmin	Rad_max	Ref_max	L_i	$ESUN_i$	L_p
B1	0.443	0.01223900	-61.19677	8224	740.9094	1.2107	39.45677	1972.253608	34.3290602
B2	0.4826	0.01253300	-62.66624	7453	758.7002	1.2107	30.74221	2019.611693	25.4913759
B3	0.5613	0.01154900	-57.74641	6425	699.1357	1.2107	16.45592	1861.054888	11.6173172
B4	0.6546	0.00973900	-48.69502	5654	589.5507	1.2107	6.369286	1569.346372	2.2891077
B5	0.8646	0.00595980	-29.79893	5140	360.7756	1.2107	0.834442	960.3617084	-1.6624236
B6	1.609	0.00148210	-7.41072	4883	89.72161	1.2107	-0.17363	238.8332212	-0.7945735
B7	2.201	0.00049956	-2.49781	4883	30.24099	1.2107	-0.05846	80.4995926	-0.2677512
d= 1.0128431 Q _e = 56.91950433° Q _s = 33.08049567°									

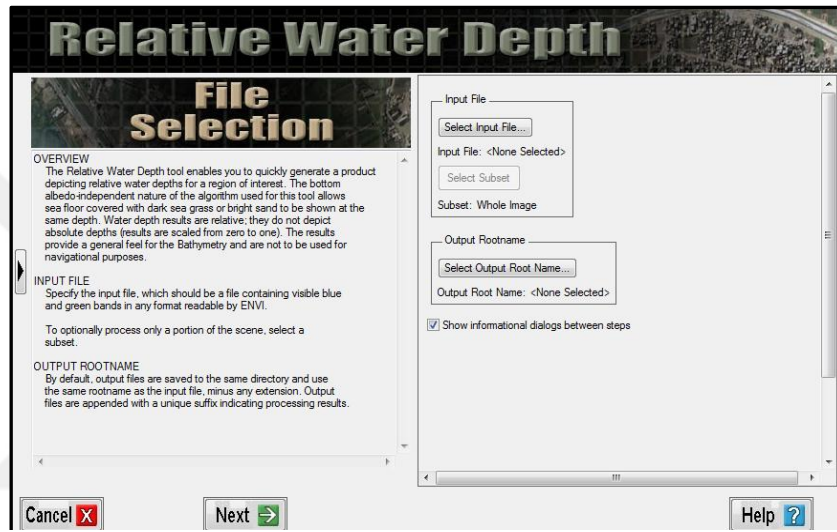
Radyometrik düzeltme sonucu elde edilen yansımaya değerlerini içeren görüntü Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 Radyometrik düzeltme getirilmiş görüntüler. a) En yakın komşuluk, b) Bilineer enterpolasyon, c)Kübik katlama

4.3.2 Veri İşleme

Veri işleme adımı, radyometrik düzeltmesi yapılmış görüntülerdeki yansıma değerlerini kullanarak bağıl ve mutlak derinlik değerlerinin elde edildiği aşamadır. Çalışmamızda veri işlemek için ENVI Classic 5.3 yazılımının SPEAR Tools modülü içerisinde bulunan “Relative Water Depth (Bağıl Su Derinliği)” aracı kullanılmıştır (Şekil 4.9). Bu araç Stumpf ve Holderied (2003) tarafından geliştirilen Logaritmik Oran Dönüşümü (LRT) algoritmasını kullanmaktadır.



Şekil 4.9 Relative water depth (Bağıl Su Derinliği) aracı.

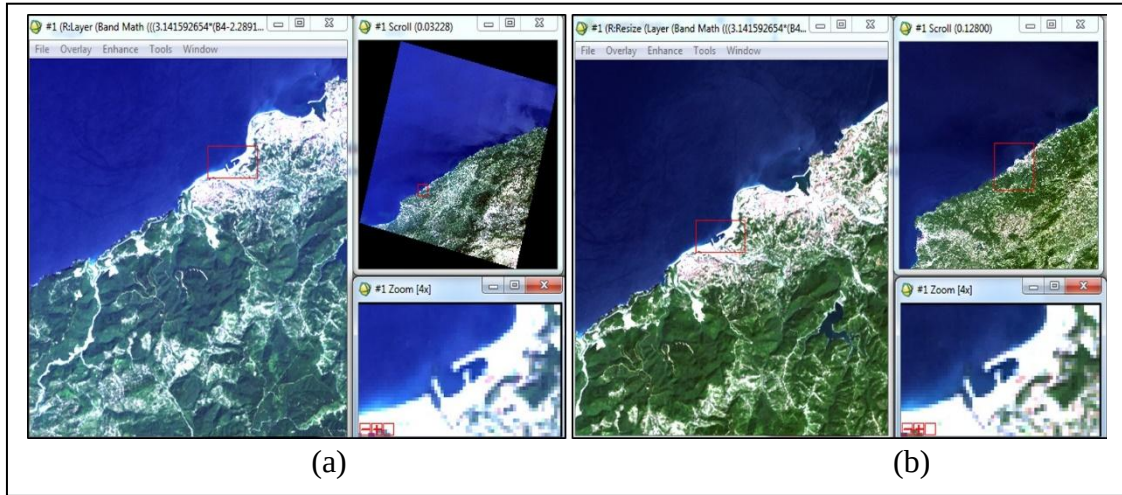
Bu araç, radyometrik düzeltmesi yapılmış seçilen bir görüntü için, farklı girdi verilerinin seçilmesine olanak verecek biçimde bağıl ve mutlak su derinliklerini otomatik olarak hesaplayabilmektedir.

Burada bahsedilen farklı girdi verileri; su ayırma ve logaritmik oran dönüşümü algoritmasında kullanılacak spektral bandların seçimi, atmosferik düzeltme seçenekleri, filtre boyutları ve regresyon işlemi için kullanılacak kontrol noktalarının belirlenmesi ve regresyon modeli seçimi gibi verilerdir.

Yapılan çalışmada en uygun veri setini bulabilmek için yukarıda bahsedilen her durum dikkate alınarak farklı kombinasyonlarda değerlendirmeler yapılmış ve sonuçları aşağıda paylaşılmıştır.

4.3.2.1 Kullanılan Görüntüler

Değerlendirmede; en yakın komşuluğa göre, bilineer enterpolasyona göre ve kübik katlamaya göre örneklenmiş tüm çerçeve görüntüler ve daha küçük boyutlu bir görüntü ile çalışmanın etkisini görebilmek için en yakın komşuluğa göre örneklenmiş görüntüden 2000x2000 piksel boyutunda kesilen görüntü kullanılmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Değerlendirmede kullanılan; a) Tüm çerçeve görüntü, b) Kesilmiş görüntü

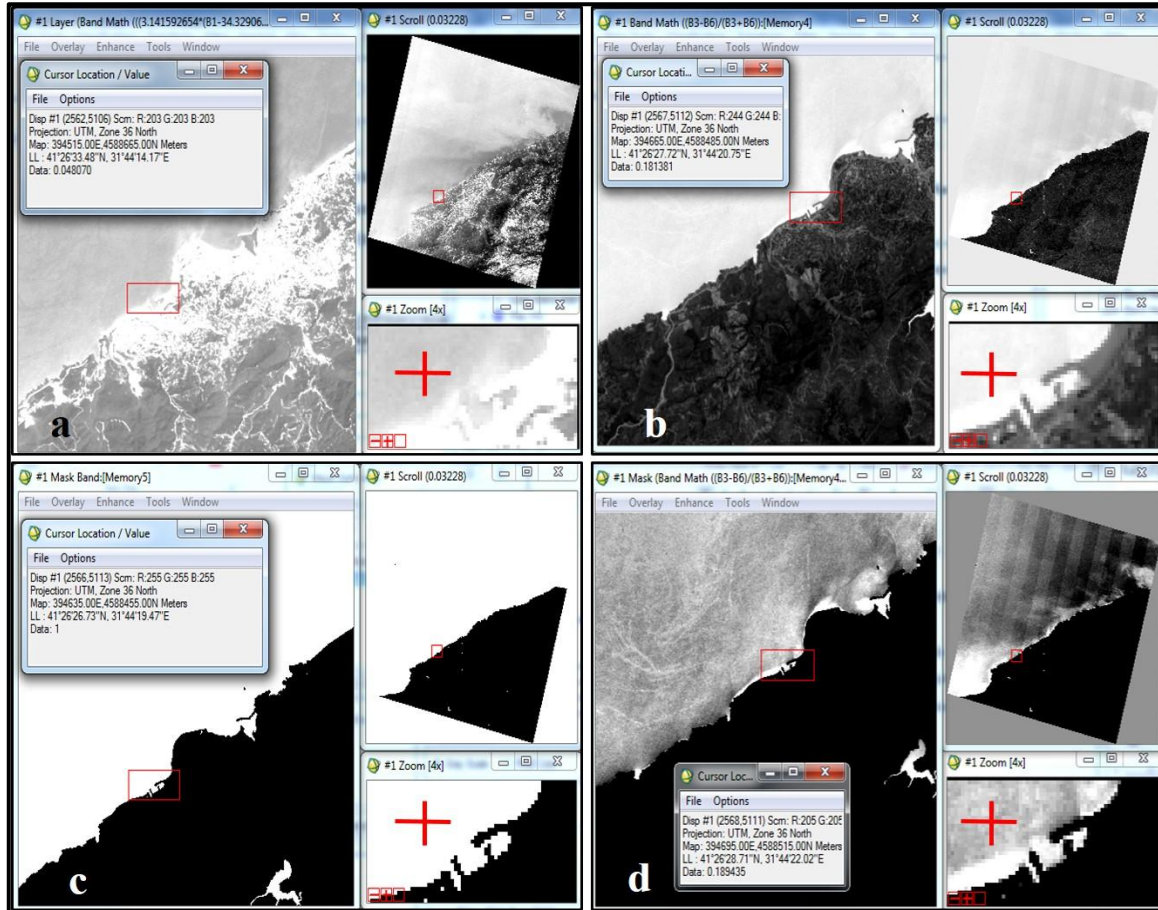
4.3.2.2 Kullanılan Spektral Bandlar

Program ilk seçenekte, su ayırma, maskeleme ve logaritmik oran dönüşümü algoritmalarında kullanmak için 4 spektral band seçmemizi istemektedir. Bunlardan yeşil ve kırmızı band zorunlu seçeneklerdir. Kullandığımız Landsat 8 görüntüsünün spektral bandlarına bakılırsa; B1: Kıyı(Açık Mavi), B2: Mavi, B3: Yeşil, B4:Kırmızı, B5:Yakın Kızılötesi, B6:Orta Kızıl Ötesi1 ve B7: Orta Kızılötesi2 olarak görülmektedir (Çizelge 4.1).

NDWI indeksinin yeşil ve yakın kızıl ötesi band oranlarını ve MNDWI indeksinin yeşil ve orta kızıl ötesi band oranını kullandığı bilindiğine göre, su ayırma ve maskeleme için kullanılacak bandlar sırasıyla B3-B5 ve B3-B6 olmalıdır (Şekil 4.11). Benzer şekilde, LRT algoritması mavi ve yeşil veya kıyı (açık mavi) ve yeşil oranını kullandığı için bu da sırası ile B2-B3 ve B1-B5 bantlarının kullanımını gerektirmektedir. Buna göre band kullanımı kombinasyonları Çizelge 4.3'deki gibi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.3 Maskeleme ve logaritmik oran dönüşümü için band kombinasyonları.

Kullanılan Bandlar	Su Ayırma İndeksi	LRT Algoritması
B1,B3,B4,B5	NDWI	Kıyı (Açık Mavi)-Yeşil
B1,B3,B4,B6	MNDWI	Kıyı(Açık Mavi)-Yeşil
B2,B3,B4,B5	NDWI	Mavi-Yeşil
B2,B3;B4,B6	MNDWI	Mavi-Yeşil



Şekil 4.11 a) Orijinal görüntü, b) MNDWI görüntüsü, c) Kullanılan maske, d) Maskelenmiş MNDWI görüntüsü.

4.3.2.3 Atmosferik Düzeltme

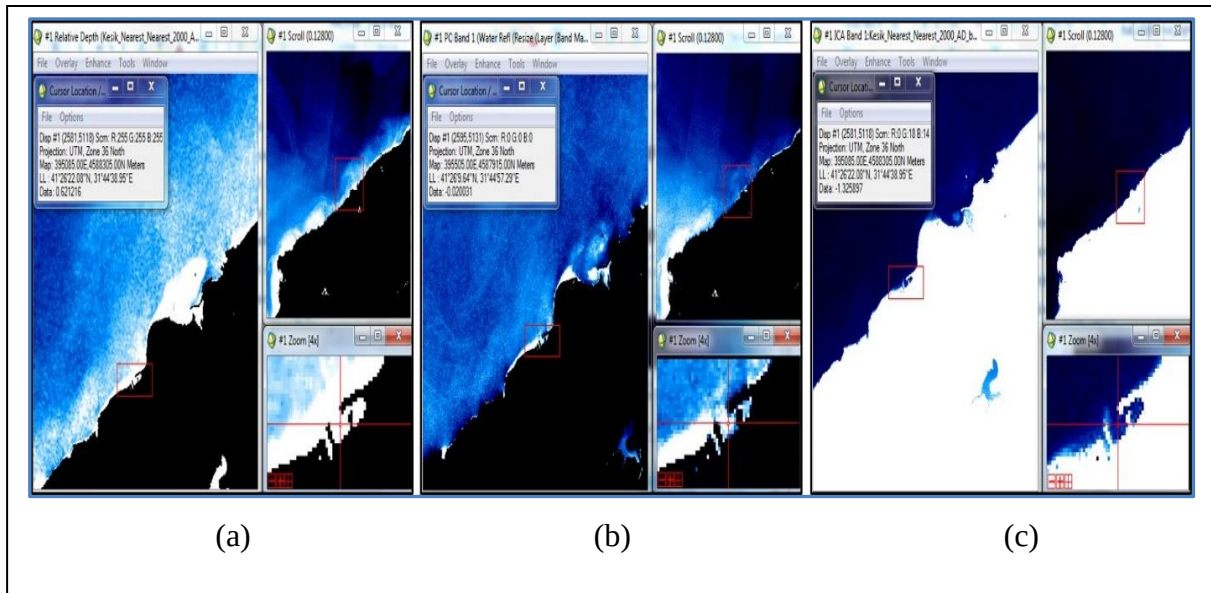
Atmosferik düzeltme isteğe bağlı olarak yapılabilir. Ancak genellikle bağlı derinlik hesaplamalarında atmosferik düzeltme yapılması tercih edilmemektedir. Çünkü atmosferik düzeltme, kıyı veya su alanlarında elde edilecek normal ya da anormal derinlik değerlerini değiştirmektedir. Bu nedenle belirli bir ihtiyaç olmadıkça veya etkileri anlaşılmadıkça yapılmamalıdır (URL-27). Yapılan çalışmadaki değerlendirmelerde atmosferik düzeltme yapılmamıştır.

4.3.2.4 Derinlik Belirleme Algoritması Seçimi

Gerekli parametreler seçildikten sonra, programda kullanılacak derinlik belirleme algoritması seçim paneli görüntülenir. Burada, Logaritmik oran dönüşümü (LRT), Ana bileşenler ve Bağımsız Bileşenler algoritmaları olmak üzere kullanılabilecek 3 oranlama yöntemi bulunmaktadır.

Yöntemler arasında en iyi ve en net sonuçları LTR algoritması vermektedir. Diğer yöntemler kullanıldığında elde edilen sonuçlarda, ilgili piksele karşılık gelen su derinliği değerini bulmak için sonuç görüntülerin her birinin incelenmesi gerekir. Bu yapılsa bile elde edilen su derinliği oranı, tamamen deniz tabanı yansımalarından ve diğer hata kaynaklarından bağımsız olarak elde edilemez (URL-27). LTR yöntemi seçildiğinde ayrıca filtreleme ve mutlak derinlik kalibrasyonu işlemleri de aktif hale gelecektir.

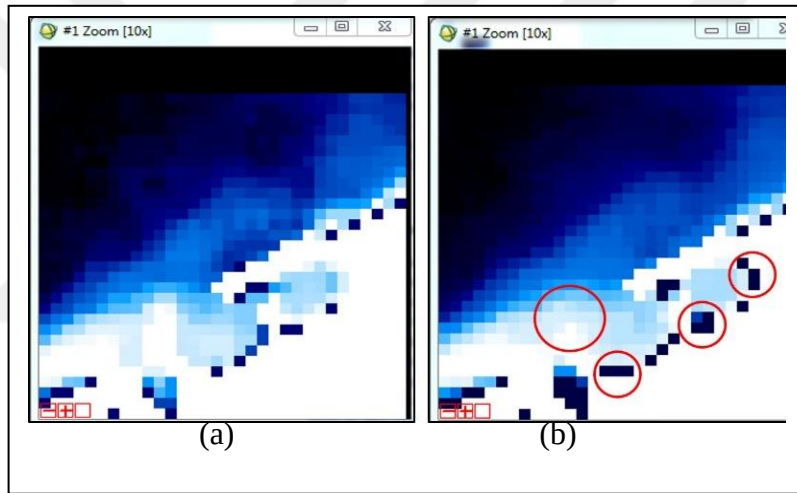
Yapılan çalışmada tüm değerlendirmeler için LTR yöntemi seçilmiş olup, yöntemler arasındaki farklılıkları göstermek amacıyla her üç yöntem ile elde edilen görüntüler Şekil 4.12’de sunulmuştur.



Şekil 4.12 a) LTR yöntemi, b) Asıl bileşenler yöntemi, c) Bağımsız bileşenler yöntemi.

4.3.2.5 Filtreleme Seçenekleri

Program içerisinde bu aşamaya gelindiğinde ve LRT yöntemi seçildiğinde karşımıza filtreleme seçenekleri çıkmaktadır. Burada kullanılan filtre medyan filtredir ve varsayılan ayar, su derinliği sonuçlarında sıklıkla ortaya çıkan yüksek frekanslı gürültüyü gidermek için 3x3 boyutundadır. İstenirse filtre boyutu arttırılabilir. Ancak daha büyük boyutlu filtreler daha yumuşak ve düzgün sonuçlar vermelerine rağmen bazı küçük detayları kaybedebilirler. Çalışmada, Kozlu balıkçı barınağı alanında mendirek ve rıhtımlar gibi küçük detaylar fazla olduğu için değerlendirmelerde, program tarafından önerilen 3x3 boyutlu medyan filtre kullanılmıştır. Ancak yine de bir değerlendirmede farkı görebilmek için 5x5 boyutunda medyan filtre kullanılmış ve sonuç olarak detayları bozduğu görülmüştür (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 a) 3x3 medyan filtre uygulanmış görüntü, b) 5x5 medyan filtre uygulanmış görüntü

4.3.2.6 Mutlak Derinlik Kalibrasyonu

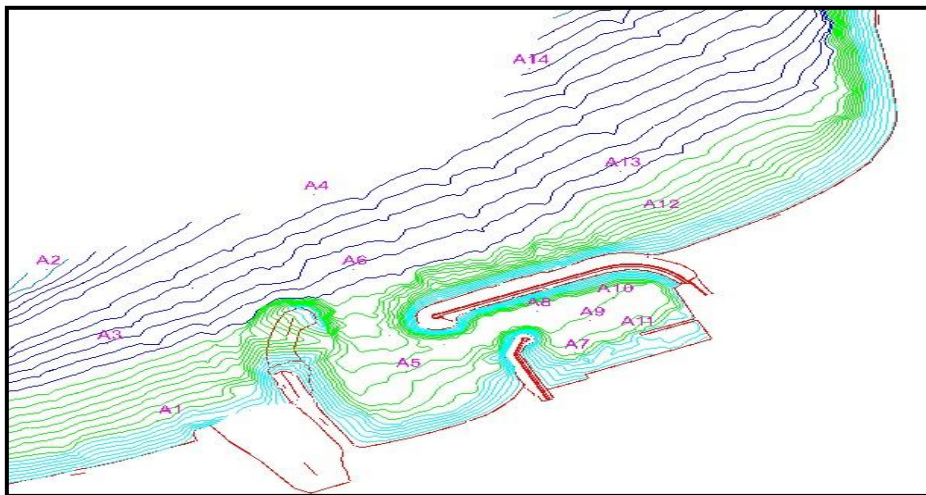
LRT algoritması ile elde edilen bağıl su derinliği bilgileri her bir piksel için birimsiz olarak, 0-1 aralığında değişen değerler olarak temsil edilirler (Şekil 4.12a). Daha öncede ifade edildiği gibi bu görüntü navigasyon ve seyir amaçlı kullanıma uygun olmayıp, sadece bölgenin batimetrisi hakkında genel bir fikir vermektedir (Şekil 4.12).

Bağıl derinlik değerlerini, mutlak derinliklerine dönüştürmek için daha doğrusu görüntüde her bir pikselin temsil ettiği bağıl derinlik oranı ile gerçek derinlik bilgileri arasında ilişki kurabilmek için seçilen bölge içerisinde en az 3 yer kontrol noktasına ihtiyaç vardır. Bu

noktalar algoritma içerisine manuel veya ascii formatında dosya içerisinde girilebilirler. Çalışmada, referans alınan modelin grid noktaları arasından 14 adet nokta, mutlak derinlik kalibrasyonu için kontrol noktaları olarak seçilmiştir (Çizelge 4.4). Noktaların seçiminde, çalışma alanına homojen dağılmalarına ve her bir derinlik seviyesini temsil edebilmelerine dikkat edilmiştir (Şekil 4.14).

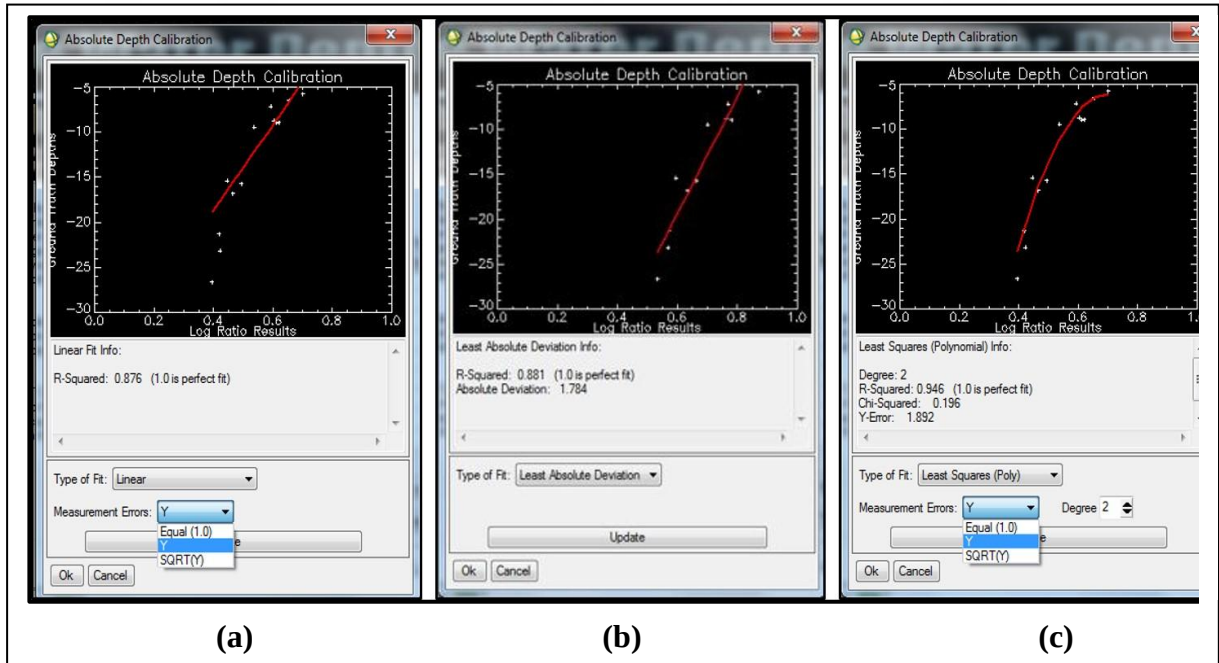
Çizelge 4.4 Çalışma alanında seçilen mutlak derinlik noktaları.

Nokta No	Y(m)	X(m)	H(m)
A1(G2524)	394782.10	4588203.99	-5.805
A2(G3669)	394612.17	4588523.86	-26.627
A3(G3916)	394702.14	4588363.92	-16.809
A4(G4850)	394962.03	4588683.80	-21.256
A5(G5009)	395091.98	4588303.95	-8.939
A6(G5443)	395022.01	4588523.86	-15.717
A7(G6227)	395311.89	4588343.93	-7.172
A8(G6275)	395261.91	4588433.90	-9.423
A9(G6412)	395331.88	4588413.90	-8.772
A10(G6541)	395361.87	4588463.88	-9.008
A11(G6557)	395391.86	4588393.91	-6.519
A12(G6765)	395421.85	4588643.81	-9.468
A13(G7067)	395371.87	4588733.78	-15.423
A14(G8062)	395251.92	4588953.69	-23.175



Şekil 4.14 Seçilen mutlak derinlik noktalarının çalışma alanındaki dağılımı.

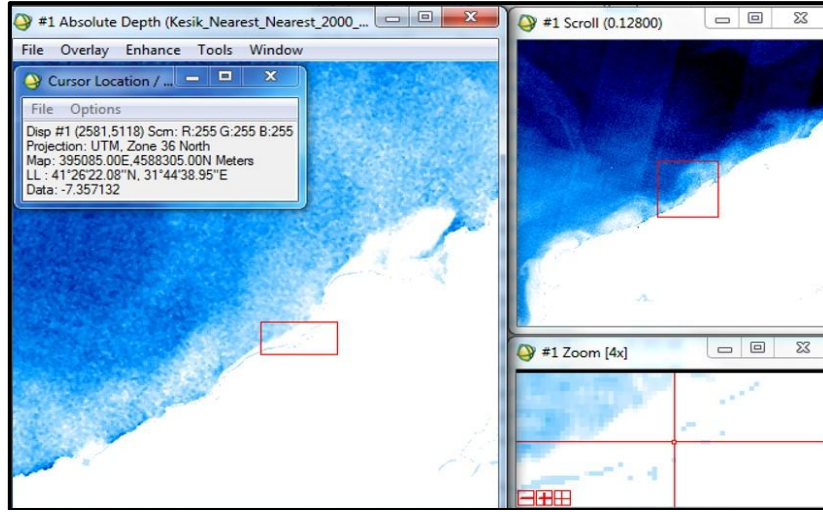
Mutlak derinlik noktalarının girilmesi ile beraber program görüntüde, mutlak derinlik noktalarının koordinatlarına karşılık gelen piksellerdeki bağıl derinlik değerleri ve gerçek derinlikler arasında doğrusal, en küçük sapma ve en küçük kareler yaklaşımlarına göre ayrı ayrı regresyon modelleri oluşturur. Daha sonra bu oluşturduğu modellerin görüntüsünü ekrana getirir. 14 noktaya göre oluşturulan her bir modelin uyumluluğu için ana kriter (R^2) ile ifade edilen belirleme katsayısıdır (Şekil 4.15). Bu katsayının değeri 1' ne kadar yakınsa, model o derece uyumludur anlamına gelmektedir. Model seçiminde bir başka kriter ise modelin alınan tüm mutlak derinlik noktalara uyumundan ziyade, sıkı derinliğe sahip noktalara uyumudur. Bu da regresyon eğrisi çizimi ile Y, Equal(1.0) ve Sqrt(Y) hata dağılımı seçeneklerinden belirlenebilir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 a) Lineer regresyon modeli, b) En küçük sapma modeli, c) En küçük kareler (polinomal) modeli.

Regresyon modeli ve parametreleri seçildikten sonra algoritma görüntüdeki tüm piksellerin bağıl derinlik bilgilerini mutlak derinlik bilgisine dönüştürür (Şekil 4.16).

Çalışmada tüm değerlendirmeler her bir regresyon modeline göre ayrı ayrı yapılmış olup, bazı değerlendirmelerde hata dağılımı seçenekleri de göz önüne alınmıştır (Çizelge 4.6)



Şekil 4.16 Mutlak derinlik görüntüsü.

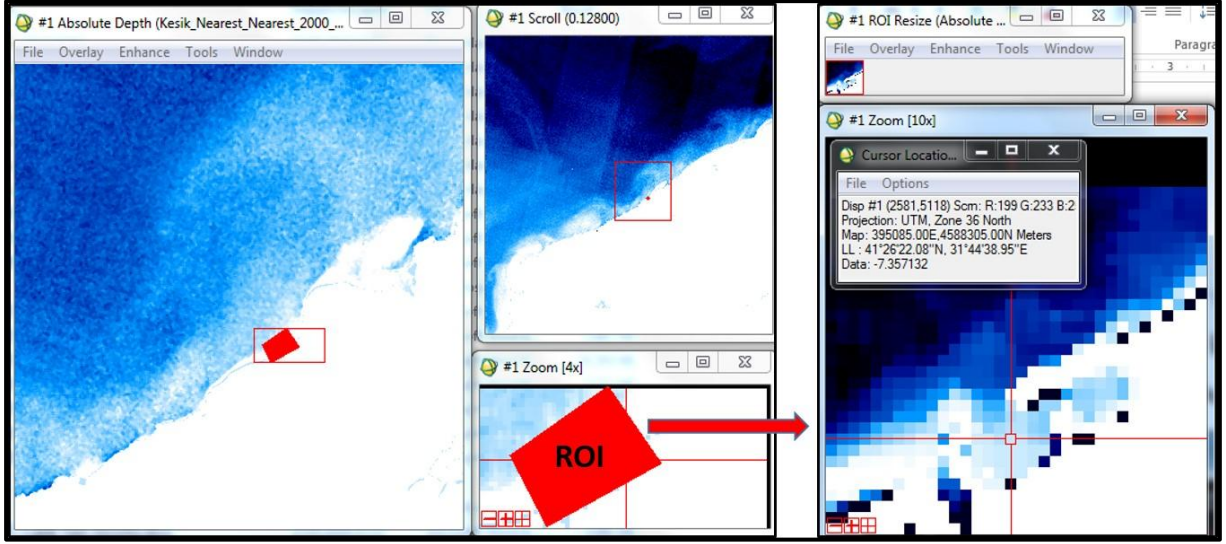
4.3.2.7 Çalışma Alanının (ROI) Belirlenmesi

Şekil 4.16'dan da görülebileceği gibi, tüm veya kesilmiş görüntü için yapılan değerlendirme sonucunda oluşan mutlak derinlik görüntüsünde, çalışma alanı olarak seçilen Kozlu balıkçı barınağı görülememektedir. Ayrıca görüntü üzerinde fazlaca ve gereksiz veriler de yer almaktadır. Bu nedenle hem çalışma alanını rahat görebilmek hem de daha sonraki adımlar için sorun oluşturacak yoğun ve gereksiz verilerden kurtulabilmek için kesme işlemi yapılması gerekir. Buradaki işlem, ENVI Classic 5.3 yazılımının Basic Tools modülü içerisinde bulunan “Region of Interest (ROI)” aracı ile yapılır.

Kesme işlemi için öncelikle çalışma alanını kapsayan ve aynı zamanda referans alınan modelin sınırlarını dikkate alan 4 çerçeve noktası seçilmiştir (Çizelge 4.5). Sonra bu noktalar ROI Tool menüsü içerisinde ascii dosya formatı şeklinde programa girilerek kesme işlemi tamamlanmıştır. Elde edilen görüntü 540 pikselden/noktadan oluşmaktadır (Şekil 4.17).

Çizelge 4.5 Çalışma alanı çerçeve koordinatları (ROI).

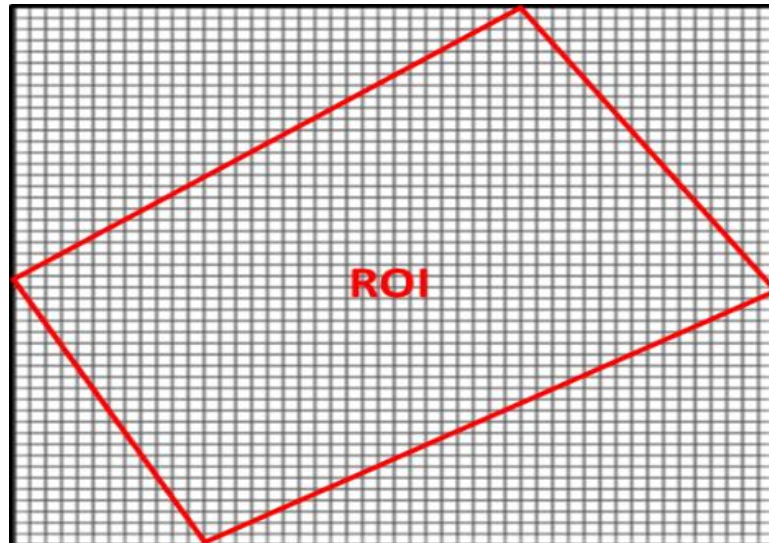
Nokta No	Y(m)	X(m)
R1	394592.18	4588513.86
R2	395251.92	4588963.68
R3	395614.78	4588462.11
R4	394842.90	4588048.57



Şekil 4.17 ROI alanı ve kesilmiş mutlak derinlik görüntüsü.

4.3.2.8 Nokta Koordinatlarının Elde Edilmesi

Kesilmiş mutlak derinlik görüntüsü elde edildikten sonra, veri değerlendirme ve analiz aşaması için görüntüde bulunan mutlak derinlik verisine sahip piksellerin koordinat bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için görüntü dosyası, File menüsü kullanılarak ascii formatında gridlenmiş xyz dosyası olarak kaydedilir. Görüntüde normal olarak 540 piksel/nokta olmasına karşın, xyz bilgileri gridleme yöntemi ile kaydedildiği için çıktı dosyası içerisinde 1054 nokta bulunur (Şekil 4.18). Burada, çalışma alanı çerçevesi dışında kalan grid noktalarının derinlik bilgileri 0 olacaktır.



Şekil 4.18 Çalışma alanının gridlenmiş hali.

Veri işleme adımı, yukarıdaki bölümlerde de bahsedildiği gibi her bir veri kombinasyonu için tek tek gerçekleştirilmiş ve bu şekilde 34 değerlendirmenin xyz grid formatında koordinatları elde edilmiştir.

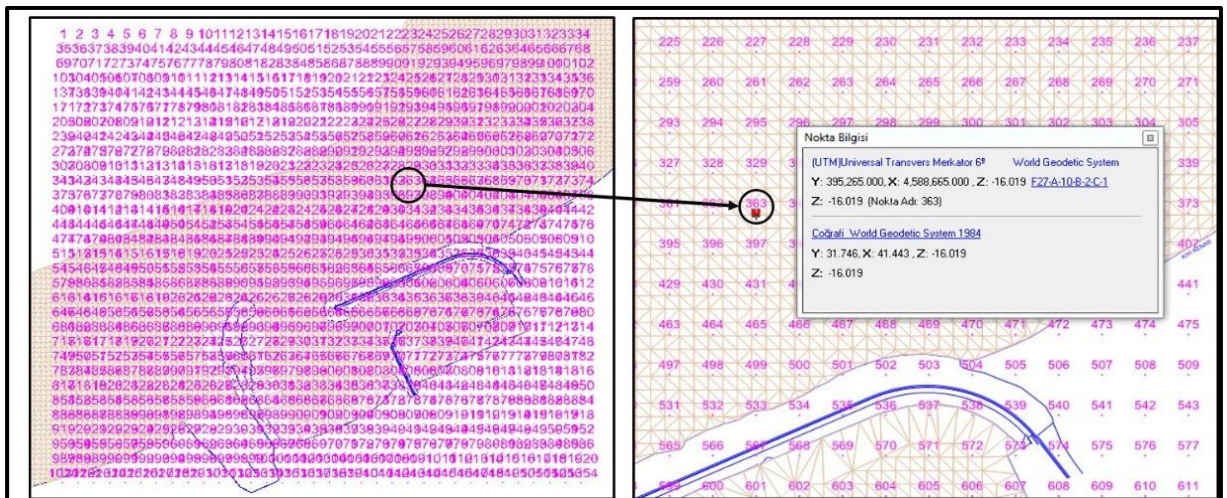
4.3.3 Veri Değerlendirme ve Analiz İşlemleri

Bu aşamada öncelikle uydu görüntülerinden gridleme ile elde edilen piksel koordinatlarının, referans alınan modeldeki gerçek derinlik bilgileri belirlenerek, her bir değerlendirmedeki mutlak derinlik bilgileri ile karşılaştırma işlemleri yapılmış ve en uygun değerlendirme kombinasyonu belirlenmiştir.

Daha sonra, belirlenen en uygun değerlendirme verileri ve referans alınan model görselleştirilerek uyum analizleri yapılmış ve son olarak batimetrik harita üretimi gerçekleştirilmiştir.

4.3.3.1 Referans Model Üzerinden Gerçek Derinliklerin Hesabı

Burada, uydu görüntülerinden üretilen xyz grid dosyasındaki gridlerin x ve y koordinatları NetCAD 7.7 programı içerisinde referans alınan model üzerine atılarak, her bir grid noktasının referans modeldeki derinlik değerleri okunmuştur. Böylece uydudan elde edilen xyz grid dosyasındaki her bir grid noktasına ait gerçek derinlikler elde edilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 Gerçek derinliklerin referans modelden elde edilmesi.

4.3.3.2 Gerçek Derinlikler ile Mutlak Derinlikleri Karşılaştırılması

Aynı koordinat değerine karşılık gelen, referans modelden elde edilen gerçek derinlikler ile uydu görüntülerinden 34 farklı değerlendirme ile elde edilen mutlak derinliklerin karşılaştırılması Microsoft Office Excel programı içerisinde yapılmıştır. Karşılaştırma işleminde öncelikle ölçü ve model hatalarının giderilmesi amaçlanmıştır.

Genellikle bu hatalar, noktaların referans model içerisinde olmaması, uydu görüntüsünün çözünürlüğünden kaynaklı çözümlenemeyen kıyı noktaları, uydu görüntüsünün alındığı zaman diliminde özellikle barınakta demirli veya denizde bulunan tekneler, denizdeki dalgalanmalar ve barınak içerisinde ve dışarısında mendirek kenarlarından kaynaklanmaktadır.

Bu amaçla, gerçek derinlik değerlerinin 0 ve artı olduğu noktalar ve mutlak derinlik değerlerinde çoğu değerlendirmenin 0 ve artı olduğu noktalar, bazı bölgelerdeki anormal farklılıklar veri setinden çıkarılmıştır.

Karşılaştırma işleminde; her bir noktanın gerçek derinlik değerinden 34 değerlendirme için ayrı ayrı olacak şekilde, aynı noktaya ait mutlak derinlik değerleri çıkarılmış ve böylelikle görünen hata değerleri elde edilmiştir (Denklem 4.1).

$$V_i = H_{GERÇEK} - H_{MUTLAK} \quad (4.1)$$

Daha sonra, Denklem 4.2'den yararlanarak her bir değerlendirmenin karesel ortalama hatası (KOH) bulunmuştur (Çizelge 4.6).

$$m = \pm \sqrt{\frac{[V_i^2]}{2.n}} \quad (4.2)$$

Çizelge 4.6 Band kombinasyonlarının R-Square ve karesel ortalama hata değerleri.

No	Örnekleme Yöntemi ve Görüntü Boyutu	Bant Kombinasyonu ve Medyan Filtre Boyutu	Gerçek Zemin Derinlikleri Uyum Modeli (Mutlak Derinlik Kalibrasyonu)			Modelin Uyum Ölçütü	K.O.H.
			Doğrusal (Lineer)	En Küçük Mutlak Sapma (Least Absolute Deviation)	En Küçük Kareler Polinomal (Least Square Polynomial)		
1	Nearest T.	B1B5 (3x3)	Y	-	-	0.861	2.076
2	Nearest T.	B1B5 (3x3)	-	Y	-	0.861	2.631
3	Nearest T.	B1B5 (3x3)	-	-	Y	0.903	1.719
4	Nearest T.	B1B6 (3x3)	Equal(1.0)	-	-	0.881	1.880
5	Nearest T.	B1B6 (3x3)	-	Y	-	0.881	2.027
6	Nearest T.	B1B6 (3x3)	-	-	Y	0.941	1.539
7	Nearest K.	B1B6 (3x3)	-	-	Y	0.962	1.660
8	Nearest K.	B1B6 (5x5)	-	-	Y	0.967	2.104
9	Nearest K.	B2B5 (3x3)	-	-	Y	0.955	1.658
10	Nearest K.	B2B6 (3x3)	-	-	Y	0.946	1.551
11	Nearest T.	B2B5 (3x3)	Equal(1.0)	-	-	0.821	2.315
12	Nearest T.	B2B5 (3x3)	-	Y	-	0.821	2.047
13	Nearest T.	B2B5 (3x3)	-	-	Y	0.840	1.540
14	Nearest T.	B2B6 (3x3)	Equal(1.0)	-	-	0.843	1.863
15	Nearest T.	B2B6 (3x3)	-	Y	-	0.843	1.816
16	Nearest T.	B2B6 (3x3)	-	-	Y	0.885	1.517
17	Bilinear T.	B1B5 (3x3)	Equal(1.0)	-	-	0.861	2.425
18	Bilinear T.	B1B5 (3x3)	-	Y	-	0.861	2.631
19	Bilinear T.	B1B5 (3x3)	-	-	Equal(1.0)	0.905	2.155
20	Bilinear T.	B2B5 (3x3)	-	-	Y	0.840	1.540
21	Bilinear T.	B2B6 (3x3)	-	-	Y	0.885	1.517
22	Bilinear T.	B1B6 (3x3)	Equal(1.0)	-	-	0.881	1.880
23	Bilinear T.	B1B6 (3x3)	-	Y	-	0.881	2.027
24	Bilinear T.	B1B6 (3x3)	-	-	Y	0.941	1.539
25	Bilinear T.	B1B6 (3x3)	-	-	Equal(1.0)	0.941	1.555
26	Bilinear T.	B1B6 (3x3)	-	-	SQRT(Y)	0.941	1.535
27	Cubic T.	B1B5 (3x3)	Equal(1.0)	-	-	0.861	2.425
28	Cubic T.	B1B5 (3x3)	-	Y	-	0.861	2.631
29	Cubic T.	B1B5 (3x3)	-	-	Y	0.905	2.155
30	Cubic T.	B2B5 (3x3)	-	-	Y	0.840	1.540
31	Cubic T.	B2B6 (3x3)	-	-	Y	0.885	1.517
32	Cubic T.	B1B6 (3x3)	Equal(1.0)	-	-	0.881	1.880
33	Cubic T.	B1B6 (3x3)	-	Y	-	0.881	2.027
34	Cubic T.	B1B6 (3x3)	-	-	Y	0.941	1.539

Çizelge 4.6, değerlendirmelerin karesel ortalama hataları göz önüne alınarak incelendiğinde; örnekleme yöntemleri açısından bir farklılık olmadığı, hatta aynı band kombinasyonlarında aynı sonuçları verdikleri görülmektedir.

Görüntü boyutu açısından bakıldığında ise kesilmiş görüntü değerlendirmesinin, tüm görüntü değerlendirmesine oranla daha kötü sonuçlar verdiği söylenebilir.

Su indeksi ve logaritmik oran dönüşümü için kullanılan band kombinasyonlarına bakıldığında, en iyi sonuçların B2-B6, B1-B6 ve B2-B5 kombinasyonlarında elde edildiği görülmektedir. Bu da görüntü değerlendirmesinde NDWI ve MNDWI su ayırma indekslerinin her ikisinin de kullanılabileceğini ancak MNDWI indeksinin biraz daha uygun olduğu anlamına gelmektedir. Aynı şekilde LRT algoritmasında mavi bandın kıyı banda göre biraz daha iyi sonuçlar verdiği de görülmektedir.

Filtre boyutu ele alındığında 3x3 medyan filtrenin 5x5 medyan filtreden daha iyi olduğu görülebilir.

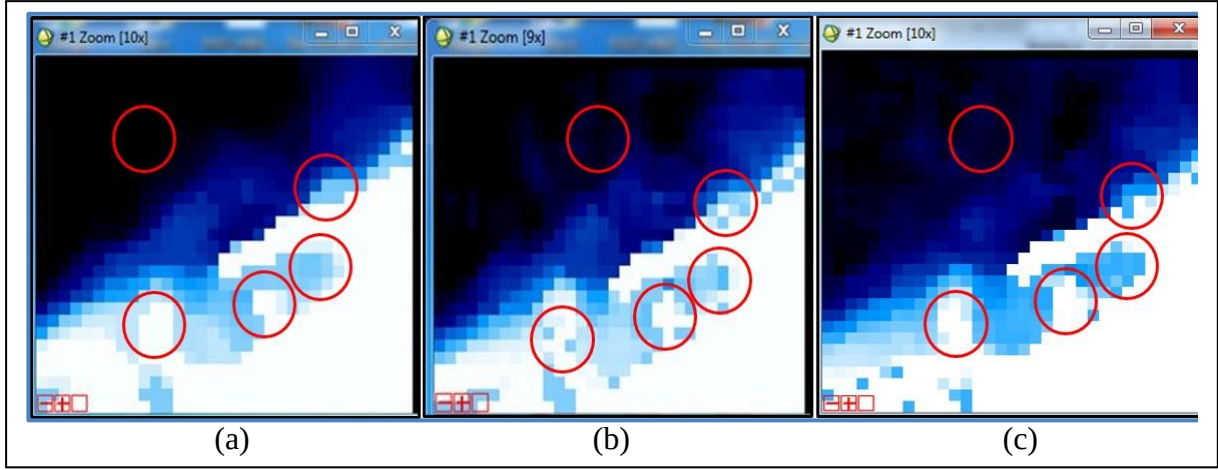
Regresyon modeli açısından inceleme yapıldığında, en küçük kareler yönteminin diğer yöntemlere göre çok daha tutarlı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca regresyon eğrisi uyumunda Y modeli diğerlerine göre daha baskın yapıdadır.

Burada en dikkat çekici sonuç R-Kare değerlerinde ortaya çıkmaktadır. Buna göre en yüksek R-Kare değerlerinin kesilmiş görüntülerde çıktığı ve bir istisna dışında karesel ortalama değerlerinin de fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni de görüntünün kesilmiş olması ve bundan dolayı da sığ derinliğe sahip piksellere uyumunun zayıf olması olarak yorumlanabilir. Bu sonuç aynı zamanda uygun sonuçların alınmasında R-Kare değerinin tek kriter olmadığının da bir göstergesidir.

Sonuç olarak; örnekleme yöntemi fark etmeksizin MNDWI su ayırma indeksi kullanılarak 3x3 medyan filtre ve en küçük kareler regresyon modeli kullanılarak yapılan değerlendirmelerin, bu çalışma için uygun değerlendirmeler olduğu görüşü benimsenmiştir.

Buna göre, Çizelge 4.6'da belirtilen 6, 13 ve 16 numaralı değerlendirmeler yukarıda bahsedilen kriterlere en uygun değerlendirmeler olarak ortaya çıkmaktadır.

Yukarıdaki inceleme yalnızca karesel ortalama hata üzerinden yapılmıştır. Ancak bu tür çalışmalarda tek kriter olarak karesel ortalama hatanın ele alınması her zaman uygun bir yaklaşım olmayabilir. Bunun için değerlendirmelerin çalışma alanını genel olarak temsil kabiliyetleri ile farklı bölge ve derinlik seviyelerindeki davranışlarına da bakılmalıdır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Değerlendirmelerin çalışma alanındaki genel görüntüleri, a) B1-B6, b)B2-B6, c)B2-B5.

Şekil 4.20'deki görüntüler incelendiğinde, değerlendirmeler arasında görüntü farklılıkları kolayca görülebilmektedir. Şekilden, B1-B6 değerlendirmesinin genel anlamda yumuşak bir görünüm sunduğunu, belirli mesafeden itibaren derinlik çözümü sunamadığı ancak barınak giriş bölgelerinde ve nispeten barınak içindeki sık bölgelerde tutarlı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

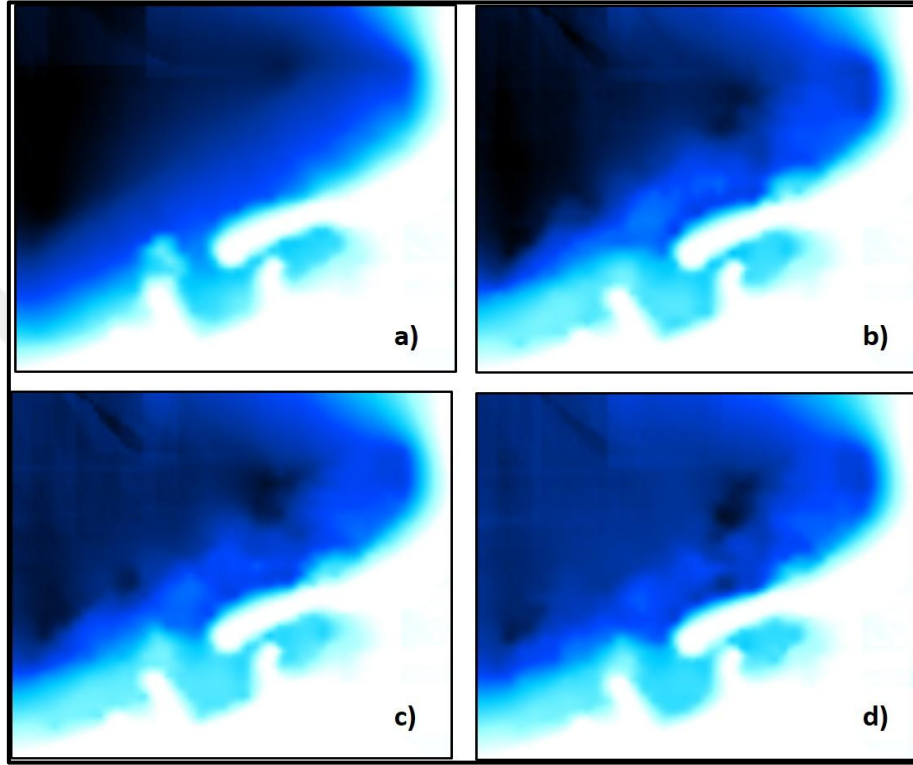
B2-B6 değerlendirmesi, özellikle mendirek detaylarında ve barınak girişlerinde iyi sonuçlar vermektedir. Ayrıca daha derin alanlarda da sonuçlar üretebilmektedir.

B2-B5 değerlendirmesi ise yumuşak bir görünümün yanında derin bölgelerde de sonuçlar üretebilmektedir. Ancak özellikle barınak iç girişinde, mendirek kenarlarında ve sık derinliklerdeki görüntü tatmin edici değildir.

Yapılan bu inceleme, en uygun değerlendirmenin seçimi için genel bir fikir vermekle beraber değerlendirmelerin referans model ile uyumu da son derece önemlidir. Bu nedenle değerlendirmelerin Surfer 15 yazılımı içerisinde referans model ile karşılaştırılarak analiz edilmesi çok daha tutarlı bir yaklaşımdır.

4.3.3.3 Değerlendirmelerin Referans Model İle Uyumunun Görsel Analizi

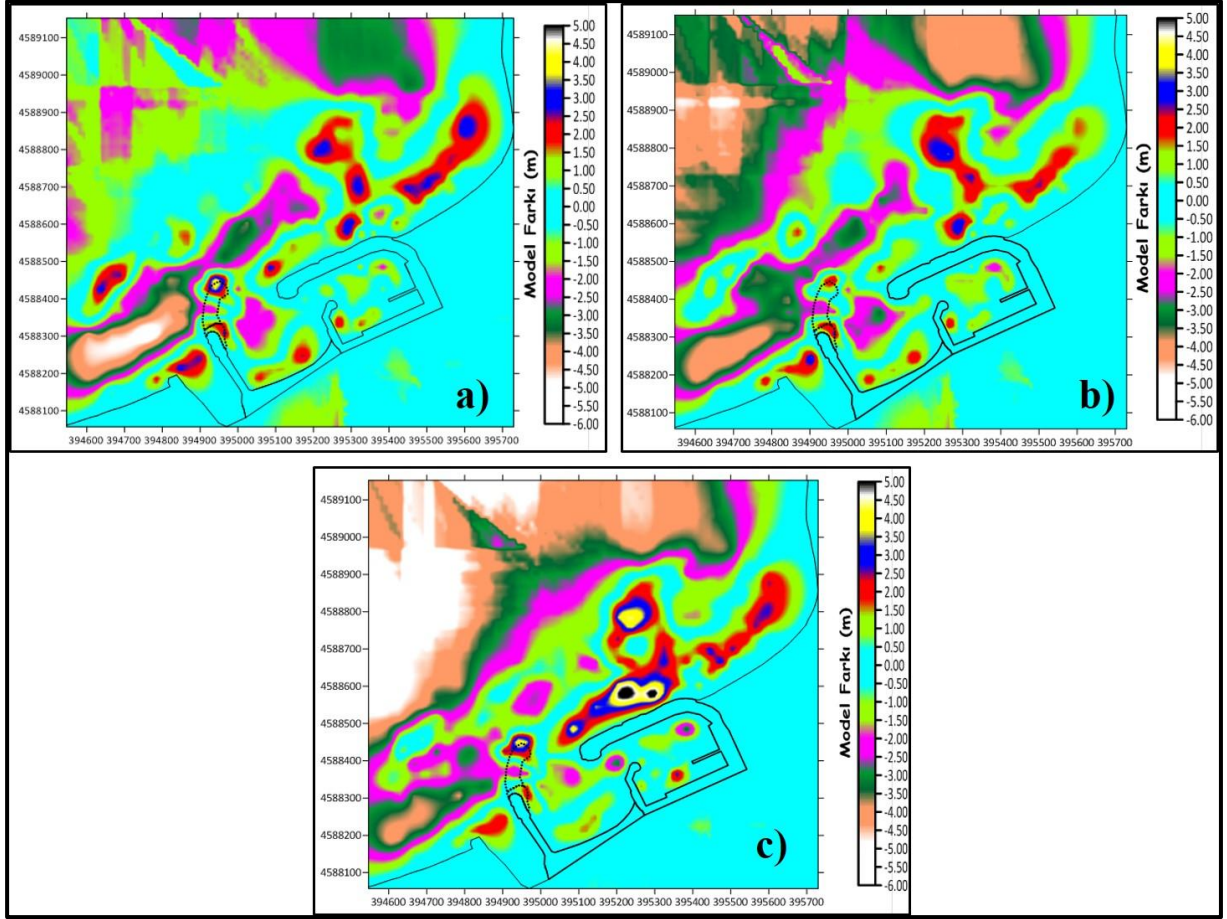
Bu aşamada, B1-B6, B2-B6, B2B5 değerlendirmelerinin ve referans modelin koordinatları Surfer 15 programına girilerek her biri için ayrı ayrı sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 Surfer 15 yazılımında sayısal yükseklik modelleri, a)Referans model, b) B1-B6 modeli, c) B2-B6 modeli, d) B2-B5 modeli.

Koordinatlar Surfer 15 yazılımına girilmeden önce, mendirek ve kıyı noktalarından kaynaklı hataların model farklarına etki etmemesi için mendirek ve kıyı noktalarının koordinatları referans modelden alınarak, her bir modelin içine eklenmiştir. Şekil 4.21’den de görülebileceği gibi görüntülerde bu özelliklerin bulunduğu bölgeler her bir sayısal yükseklik modeli için sabit görünüme sahiptir.

Daha sonra her bir değerlendirmeye ait sayısal yükseklik modeli, referans modelden çıkarılarak sayısal yükseklik modeli fark görüntüleri oluşturulmuştur (Şekil 4.22). Bu görüntüler üzerinde, değerlendirmelerin referans modele uyumu analiz edilmiş ve çalışmamızda, batimetrik harita üretiminde kullanılacak en uygun değerlendirme seçeneği ortaya konmuştur.



Şekil 4.22 Değerlendirmelerin model fark görüntüleri, a) B1-B6 modeli, b) B2-B6 modeli, c) B2-B5 modeli

Model fark görüntüleri oluşturulduktan sonra, görüntülerdeki farklılıkların konumsal olarak da kolay yorumlanabilmesi için referans modelden alınan barınak mendirekleri ve kıyı bandı noktaları görüntüsü, model fark görüntülerinin üzerine eklenmiştir (Şekil 4.22).

Buna göre görüntüler incelendiğinde, genel görünümde tatmin edici görünen B1-B6 modelinin özellikle sığ derinliklerin bulunduğu barınak iç kısımlarında ve barınak ana girişi bazı hatalar içerdiği, 15m üstü derinliklerde çoğunlukla düzgün sonuçlar ürettiği, barınağın sağ ve sol kıyı bölgelerinde hatalı sonuçlar verdiği görülmektedir.

B2-B6 modelinin ise barınak iç bölgeleri ile ana ve iç girişlerde oldukça kötü sonuçlar ürettiği, barınağın sağ ve sol kıyı bölgelerinde fazla hatalı ve 15m üstü derinliklerde başarısız olduğu görülmektedir.

Son olarak B2-B5 modeli ele alındığında, modelin barınak ana giriş bölgesinde oldukça iyi sonuçlar verdiği, ancak 15m'den daha derin alanlarda ve kısmen barınak iç girişinde doğru sonuçlar üretilmediği, barınağın sağ ve sol kıyı kesimlerinde hatalar içerdiği ve genel olarak sığ derinliğe sahip bölgelerde başarılı olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, yapılan çalışmanın ilgi alanı olan Kozlu balıkçı barınağının genel anlamda sığ derinlik olarak tanımlanan 5-10m arası derinliklere sahip olduğu düşünüldüğünde, çalışmanın amacına en uygun değerlendirmenin B2-B5 kombinasyonunda yapılan değerlendirme olduğuna karar verilmiştir.

Dolayısıyla Kozlu Balıkçı Barınağının, uydu görüntüleri yardımıyla üretilecek batimetrik haritası için; tüm görüntü kullanılarak en yakın komşu enterpolasyonuna göre örneklenen, NDWI su ayırma indeksine göre maskeleme işlemi yapılan, LRT algoritmasında mavi ve yeşil bandı oran olarak kullanan ve regresyon modelinde en küçük kareler yönteminin Y modelini uygulayarak sonuç üreten, B2-B5 değerlendirmesi kullanılmıştır. Bu değerlendirmenin R-Kare değeri 0.840 ve çalışma alanının geneli için karesel ortalama hatası $\pm 1.54\text{m}$ olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6).

4.3.3.4 Batimetrik Verilerin Doğruluk Analizi ve IHO Standartları

Elde edilen uydu batimetrik verisinin, çalışma alanının geneli için hesaplanan karesel ortalama hatası her ne kadar $\pm 1.540\text{m}$ olarak belirlense de, Şekil 4.22'den de görülebileceği gibi, B2-B5 değerlendirmesi farklı bölgelerde farklı hatalar içermektedir. Biz bu durumdan hareketle, IHO standartları ile hataların bölgesel değerlerini karşılaştırabilmek için çalışma alanını, barınak yaklaşma bölgeleri, barınak girişleri ve barınak iç bölgeleri olarak 5 bölgeye ayırdık (Şekil 4.23).



Şekil 4.23 Kozlu balıkçı barınağının bölgelere ayrılmış durumu.

Şekilde 4.23’de, 1. ve 2 bölgeler barınak iç bölgelerini, 3. ve 5. bölgeler barınak yaklaşım bölgelerini ve 4. bölge ise hem yaklaşıma hem de barınak giriş ve çıkış bölgelerini temsil etmektedir. Seçilen bölgeler aynı zamanda çalışma alanındaki derinlik seviyelerini de temsil etmektedir.

Bölgelerdeki hata oranları, her bölgede için 20-23 arası nokta kullanılarak, Microsoft Excel 2016 yazılımı içerisinde, Denklem 4.1 ve Denklem 4.2 eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7 Bölgelere göre hesaplanan KOH.

Bölge Adı	Derinlik Seviyesi	K.O.H
Tüm Bölge	-	$\pm 1.54\text{m}$
1.Bölge	-5m ile -7m	$\pm 0.65\text{m}$
2.Bölge	-8m ile -10m	$\pm 0.90\text{m}$
3.Bölge	-11m ile -14m	$\pm 1.16\text{m}$
4.Bölge	-14m ile -17m	$\pm 1.30\text{m}$
5.Bölge	-15m ile -20m	$\pm 1.60\text{m}$

Bölüm 2.4’de de bahsedildiği gibi dünyada yapılan hidrografik ölçüler Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO) tarafından kontrol edilmektedir. Bu nedenle yapılan tüm batimetrik

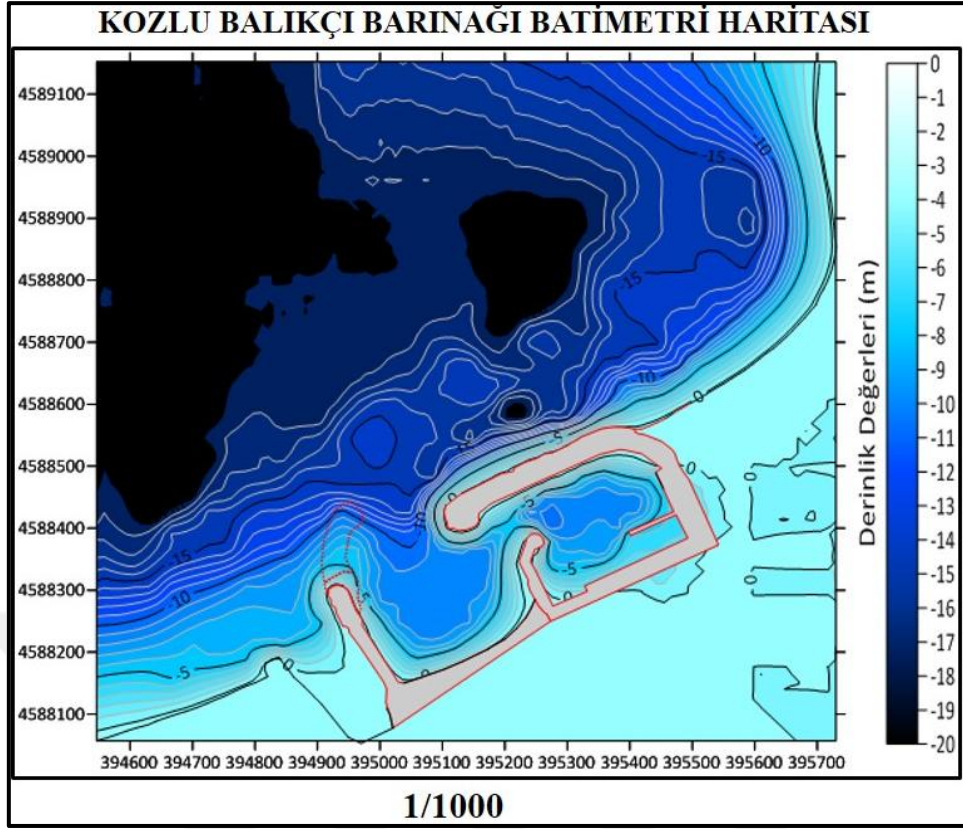
ölçümlerin de IHO tarafından belirlenen ölçüm ve doğruluk standartlarına (Çizelge 2.1) uygun olması gerekir.

IHO standartları açısından çalışma alanımız, Çizelge 2.1 de, “Limanlar, liman yaklaşma suları, tavsiye edilen kanallar ve derinliği 100m ye kadar olan bazı kıyı alanları” olarak belirtilen 1. Derece alan sınıfına girmektedir. Bu çizelgede ayrıca çalışma alanındaki genel derinlik bilgisine göre derinlik doğruluğu standardı, Denklem 2.7 ile belirlenmektedir.

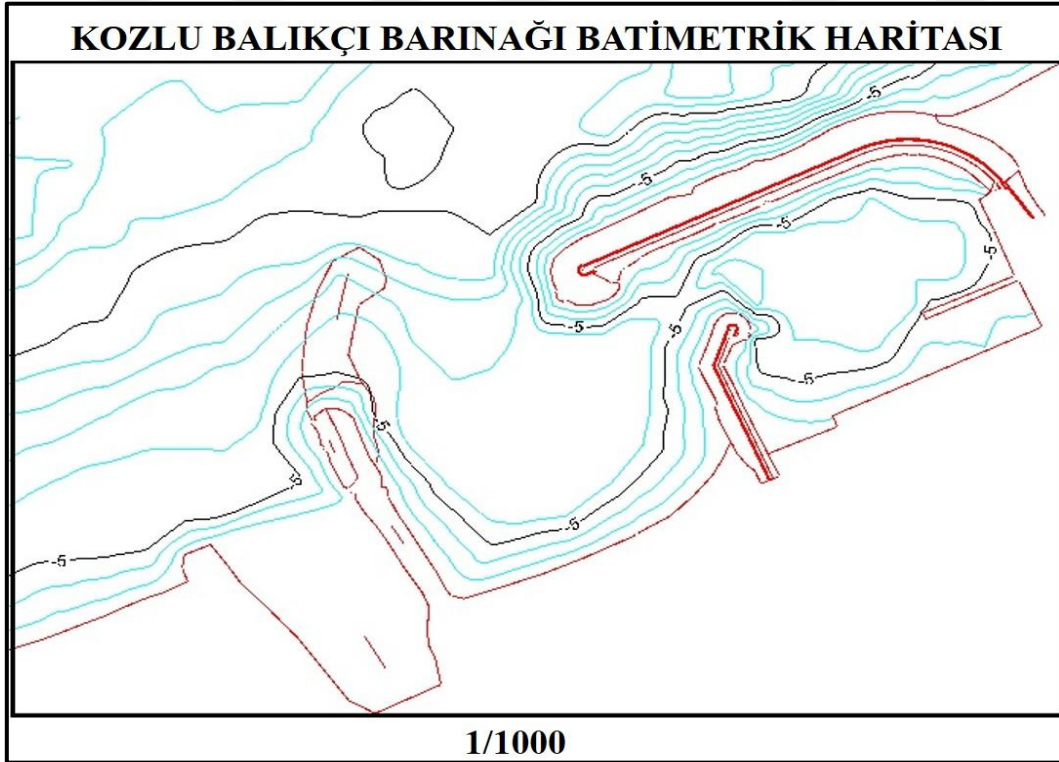
Çalışma alanı olarak belirlediğimiz bölgede su derinlikleri en fazla 25m’ yi göstermektedir. Buna göre Denklem 2.7 ile hesaplama yapılarak derinlikler için genel doğruluk standardının $\pm 0.60m$ olduğu bulunmuştur. Yaptığımız çalışmada bu doğruluğa sadece, sığ derinliklere sahip olan 1. Bölgede yaklaşmıştır (Çizelge 4.7). Bu sonucun, kullanılan uydu görüntüsünün çözünürlüğünün düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla yapılan çalışma IHO standartlarında uygun değildir.

4.3.3.5 Uydu Görüntülerinde Üretilen Batimetrik Haritalar

Bu aşamada, Kozlu Balıkçı Barınağının 15.08.2018 tarihli Landsat 8 uydu görüntüsünden, LRT yöntemi kullanılarak, B2-B5 band kombinasyonunda ve $\pm 1.54m$ duyarlılığında üretilen batimetri verileri (koordinatları) ile Surfer 15 ve NetCAD 7.7 yazılımlarında üretilen batimetrik haritalar gösterilmektedir (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25).

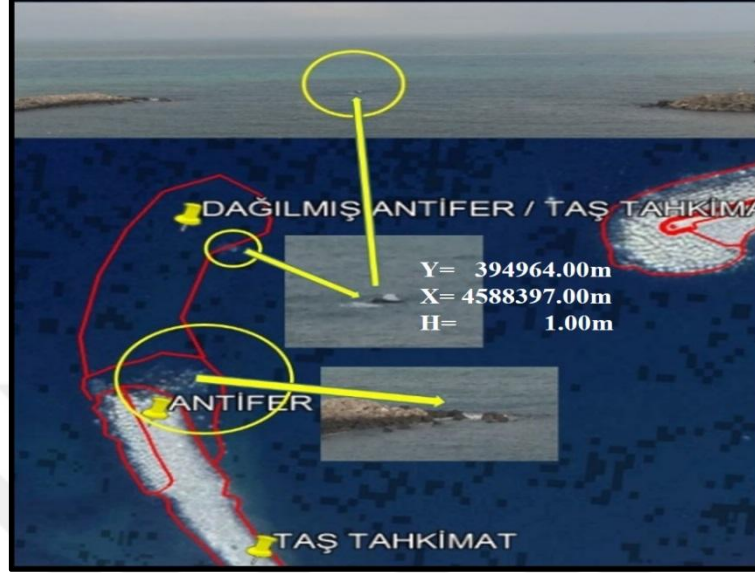


Şekil 4.24 Surfer 15 programında üretilen Kozlu Balıkçı Barınağı batimetrik haritası.



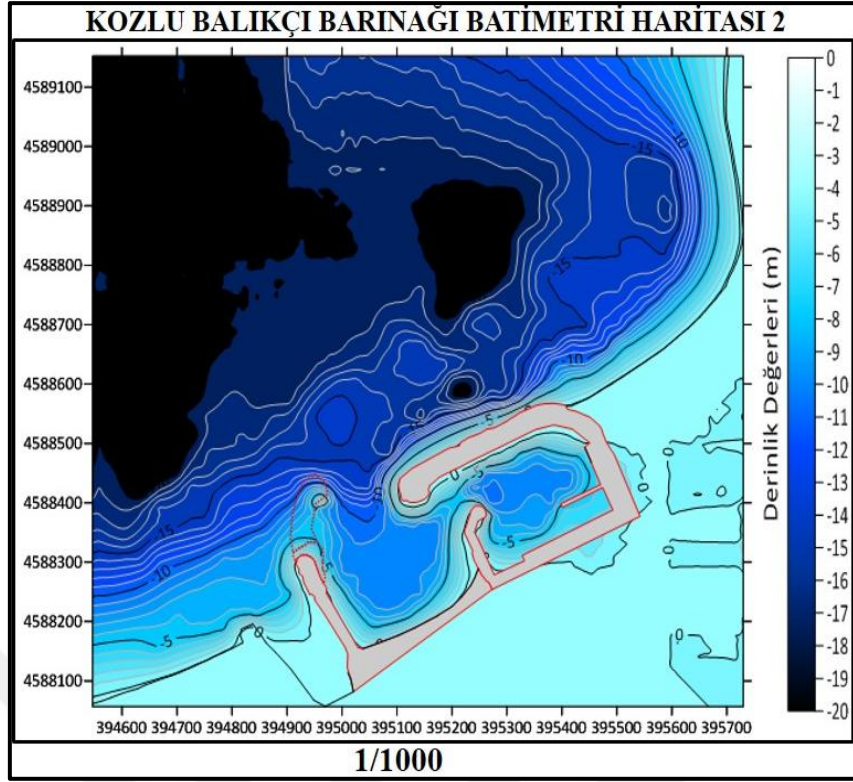
Şekil 4.25 NetCAD 7.7 programında üretilen Kozlu Balıkçı Barınağı batimetrik haritası.

Bölüm 4.1’de de anlatıldığı gibi, 18.01.2018 tarihinde Karadeniz kıyılarında meydana gelen fırtına ile barınak bulunan koruyucu mendireğin bir kısmı yıkılmış ve dağılan taş tahkimatın bir kısmı barınak girişinde bir taş kütesi halinde bulunmaktadır (Şekil 4.26).

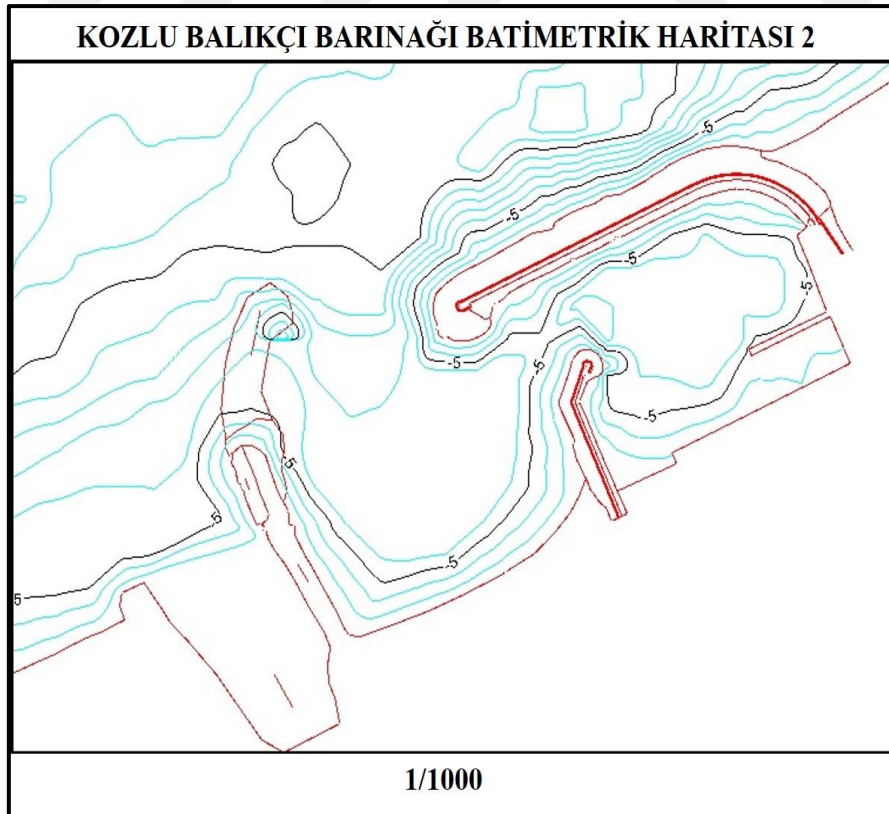


Şekil 4.26 Kozlu Balıkçı Barınağı girişindeki taş kütesi ve koordinatları.

Su yüzeyinden yaklaşık 0.50m yükseklikte bulunan bu taş kütesi, yapılan çalışmada kullanılan uydu görüntüsünün piksel çözünürlüğünden dolayı algılanamamıştır. Bu nedenle, oluşturulan modelin gerçeğe uygunluğunun artırılması amacıyla bu taş kütesinin, üretilen batimetrik haritada gösterilmesi gerektiği düşünülmüş ve yaklaşık koordinatları modele dahil edilmiştir. Yeni oluşan görüntüler, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.27 Barınak girişinde bulunan taş kütlesi modele eklenerek Surfer 15 programında üretilen Kozlu Balıkçı Barınağı batimetrik haritası.



Şekil 4.28 Barınak girişinde bulunan taş kütlesi modele eklenerek NetCAD 7.7 programında üretilen Kozlu Balıkçı Barınağı batimetrik haritası.



BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Yapılan çalışmada son yıllarda dünyada oldukça fazla çalışma yapılan ve teknoloji ile birlikte sürekli gelişen fakat ülkemizdeki örnekleri fazla olmayan uydu görüntülerinden batimetrik harita üretimi amaçlanmıştır. Yöntemin uygulama alanı olarak yakın tarihli batimetri verisi bulunan 2014 yılında tamamlanan Kozlu Balıkçı Barınağı seçilmiştir.

Çalışmada öncelikle, batimetrik çalışmaların genel özellikleri ve yöntemleri açıklanarak, sonrasında uydular ile batimetrik harita üretimi yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır.

Uygulamada Landsat 8 uydu görüntüsünden, Envi Classic 5.3 uzaktan algılama yazılımından yararlanılmıştır. Landsat 8 görüntüsü öncelikle bir ön işleme sokularak görüntünün geometrik ve radyometrik hataları giderilmiştir. Daha sonra görüntü, maskeleme ve band oranlaması işlemleri için farklı band kombinasyonlarında, Envi Classic 5.3 yazılımı içerisindeki “Relative Water Depth” modülü kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme algoritması olarak LRT yöntemi kullanılmış ve bu şekilde çalışmada kullanılacak en uygun veri setini bulabilmek amacıyla 34 değerlendirme yapılmıştır.

Değerlendirmeler, çalışma alanında, Ünal Harita tarafından akustik iskandil ile elde edilen ve referans kabul edilen batimetrik veriler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda değerlendirmelere ait karesel ortalama hata değerleri bulunmuş ve en az hata oranına sahip değerlendirmelerin B1-B6, B2-B6, B2-B5 band kombinasyonları olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonra bu üç değerlendirme Surfer 15 programında sayısal yükseklik modelleri oluşturularak, referans model ile karşılaştırılmış ve görselleştirilen model hataları yorumlanarak en uygun değerlendirmenin B2-B5 kombinasyonu olduğu ortaya konmuştur.

B2-B5 kombinasyonundan elde edilen ilk önce çalışma alanı bölgelere ayrılarak incelenmiş ve verilerin bölgesel hataları bulunarak IHO standartlara uygunluğuna bakılmıştır. Buna göre, çalışma alanı bir bütün olarak değerlendirildiğinde karesel ortalama hata $\pm 1.54\text{m}$ olarak

hesaplanmıştır. Farklı derinlik seviyelerine göre belirlenen bölgelerde ise -5m ile -7m'ye kadar olan derinliklerde yaklaşık $\pm 0.65\text{m}$; -8m ile -10m'ye kadar olan derinliklerde $\pm 0.90\text{m}$; -11m ile -14m arası derinliklerde $\pm 1.16\text{m}$ ve -15 ile -20m arası derinliklerde $\pm 1.60\text{m}$ 'lık hatalar tespit edilmiştir. Yöntemden üretilen veriler IHO standartlarını tam olarak sağlamamakla beraber uydu görüntüsü çözünürlüğünün düşük olmasına rağmen elde edilen karesel ortalama hata değerleri yöntemin uygulanabilirliği konusunda umut verici olmuştur.

Çalışma alanının balıkçı barınağı olması ve yoğun olarak kullanıldığı düşünüldüğünde, oluşan hataların yalnızca uydu görüntüsünün çözünürlük özelliklerine bağlanması tutarlı bir yaklaşım olmaz. Bunun yanında barınak bölgesinde bulunan mendirek gibi yapı ve tesislerin, görüntü aldığı zamanda barınak içinde bulunan demirlemiş ya da seyir halindeki teknelerin ve su yüzeyinde oluşabilecek dalgalanmaların da oranlama ve enterpolasyon işlemlerine etkisi bir hata kaynağı olarak ortaya çıkmaktadır.

Çalışmanın sonunda Surfer 15 ve NetCAD 7.7 yazılımları kullanılarak Kozlu Balıkçı Barınağının batimetrik haritaları elde edilmiştir.

Sonuç olarak, yapılan bu çalışma ile yöntemin özellikle sığ derinliğe sahip bölgelerde uygulanabilirliği görülmüş, ülkemizde bu konuda yapılacak yeni çalışmalara bir altlık oluşturulmuştur. Ayrıca çalışmamızda kullandığımız uydu görüntülerinden daha iyi konumsal ve radyometrik çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri ile çalışıldığı takdirde yöntemin daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akgül M A ve Çetin M** (2018) Baraj Gölü Su Kotunun Landsat 8 Uydu Görüntüleri Kullanılarak Tahmin Edilmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9 (1): 493-502.
- Algancı U** (2018) Arazi Örtüsü Değişimlerinin Çok Zamanlı Landsat 8 Uydu Görüntüleri ile Belirlenmesi: İstanbul Örneği. *Harita Dergisi*, (160): 24-33.
- Alsubaie N M** (2012) The Potential of Using Worldview-2 Imagery for Shallow Water Depth Mapping *Master Thesis*, University of Calgary, Department of Geomatics Engineering, Alberta, Canada, 66.
- Altuntaş C ve Çorumluoğlu Ö** (2011) Filtreleme Yöntemi ile Dijital Görüntü Zenginleştirme ve Örnek Bir Yazılım. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 10 (1): 99-107.
- Ayhan E, Atay G ve Erden A O** (2007) . Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinde Geometrik Düzeltmenin Sınıflandırma Sonuçlarına Etkisi. *TUFUAB IV.Teknik Sempozyumu*, 5-7 Haziran 2007, İstanbul, Türkiye, ss 5 .
- Aykut N O** (2009) Sığ Sulardaki Hidrografik Ölçmelerde Çok Bimli İskandillerin Kullanımı ve Hata Analizi. *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 165.
- 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.
- Başer V, Bıyık C ve Demir O** (2011) . Kıyılar ve Denizel Alanların Kullanımında Harita Mühendisliği Uygulamaları. *7.Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, 20-23 Kasım 2011, Trabzon, Türkiye, 527-536.
- Boyacı D** (2015) Arazi Örtüsü Tespitinde Bulanık Mantık Sınıflandırma: Ankara Bölgesinde Örnek Uygulama. *Harita Dergisi*, (153): 34-41.
- Canty M J** (2014) *Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing, With Algoritms for ENVI/IDL and Python*, Third Edition, 13: 978-1-4665-7038-2, CRC Press Taylor & Francis Group, e-book, 494 sayfa.
- Çelikkıran A** (2009) Marmaray Projesi Kapsamında Gerçekleştirilen Hidrografik Ölçmeler. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, 122.
- Deidda M and Sanna G** (2012) Bathymetric Extraction Using Worldview-2 High Resolution Images. *XXII ISPRS Congress*, 25 August-01 September 2012, Melbourne, Australia, 153-157.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Dumanoğlu G** (2014) Deniz Jeofizik Sistemlerinde Elde Edilen Verinin Kalitesinin Arttırılması ve Kalibrasyonu İçin Deniz Ortamında Deneysel Çalışmalar. *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye, 51.
- Ekizoğlu İ** (2011) CBS Yardımıyla Batimetrik Haritaların Oluşturulması ve Değerlendirilmesi Üzerine Bir Çalışma: Altınapa Barajı (Konya) Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, Türkiye, 87.
- Fakıoğlu M ve Ather Y** (2016) Devlet Su İşleri Müdürlüğü'nde Hidrografik Harita Çalışmaları. *8.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 19-21 Ekim 2016, İstanbul, Türkiye, ss 7.
- Germen E Ö** (2006) Near Shore Bathymetric and Topographic Surveys in Marmara Sea. *Master Thesis*, Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Graduate Program in Geodesy, İstanbul, Turkey, 102.
- Göktürk F F** (2015) Seabed Mapping Using Multibeam Sonar and Combining with Former Bathymetric Data. *Master Thesis*, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, The Degree of Master of Science, Ankara, Turkey, 101.
- Green G, Schweik C M, 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.
- Jagalingan P, Akshaya B J and Hedge A V** (2015) Bathymetry Mapping Using Landsat 8 Satellite Imagery. *8th International Conference on Asian and Pacific Coasts*, 7-10 September 2015, Chennai, India, 560-566.
- Kahveci M M** (2010) OrbView-3 ve IKONOS Uydu Görüntülerinin Doğruluğunun Belediyecilik Hizmetlerinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, 66.
- Lyzenga D R** (1978) Passive Remote Sensing Techniques For Mapping Water Depth and Bottom Features. *Applied Optics*, 17 (1): 379-383.
- Lyzenga D R** (1985) Shallow-Water Bathymetry Using Combined Lidar and Passive Multispectral Scanner Data. *J.Remote Sensing*, 6 (1): 115-125.
- McFeeters S K** (1996) The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7): 1425-1432.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Öngören H** (2011) Amasra Limanının Hidrografik Haritasının Hazırlanması ve İp İskandik ile GPS Sistemlerinin İrdelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye, 83.
- Parente C and Pepe M** (2018) Bathymetry From WorldView-3 Satellite Data Using Radiometric Band Ratio. *Acta Polytechnica*, 52 (2): 109-117.
- Perihanoğlu G M** (2015) Dijital Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak Görüntülerden Detay Çıkarımı. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye, 67.
- Polat N** (2014) Farklı Filtreleme Yöntemleri ile Lidar Nokta Bulutlarından Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyon, Türkiye, 68.
- Said N M, Mahmud M R and Hasan R C** (2017) Satellite-Derived Bathymetry: Accuracy Assesment on Depths Derivation Algorithm for Shallow Water Area, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, XLII-4/W5: 159-164.
- Song C, Woodcock C E, Seto K C, Lenney M P and Macomber S A** (2001) Classification and Change Detectio Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects. *Remote Sensing of Enviroment*, 75: 230-244.
- Stumpf R P and Holderied K** (2003) Determination of Water Depth With High-Resolution Bottom Types. *Limnology and Oceanoraphy*, 48 (1): 547-556.
- Su H, Liu H and Heyman W D** (2008) Automated Derivation of Bathmetric Information from Multi-Spectral Satellite Imagery Using a Non-Linear Inversion Model. *Marine Geodesy*, 31: 281-298.
- Uçar C ve Torun M K** (2010) Büyükçekmece Gürpınar Sahili Anroşman İnşaatı İşinde Deniz Dip Haritasının Batimetrik Yöntemle Oluşturulması. *5.Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 20-22 Ekim 2010, Zonguldak, Türkiye, 243-252.
- Uçar C ve Torun M K** (2010) Büyükçekmece Gürpınar Sahili Anroşman İnşaatı İşinde Deniz Dip Haritasının Batimetrik Yöntemle Oluşturulması. *5. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, 20-22 Ekim 2010, Zonguldak, Türkiye, 243-252.
- Uysal E** (2016) Uzay Fotogrametrisi. *Geomatik Dergisi*, 1(1): 24-38.
- 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.
- Zirek E** (2017) 3D Seafloor Model Determination and Change Detection with Multitemporal Multi Beam Echo Sounder Bathymetry. *Master Thesis*, İstanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, Geomatics Engineering Programe, İstanbul, Turkey, 93.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-1** < <https://hidrografik.wordpress.com/>>, Ziyaret tarihi: 08.11.2018.
- URL-2** < <https://www.usgs.gov/>>, Ziyaret tarihi: 08.11.2018.
- URL-3** < <https://tr.wikipedia.org/wiki/Batimetri>>. Ziyaret tarihi: 24.09.2019.
- URL-4** < <http://batimetri.com/index.php/batimetri-nedir>>
- URL-5** <<http://slideplayer.biz.tr/slide/3007321/>>
- URL-6** < <https://prosafety.com.tr/elektromanyetik-spektrum-radyoaktivite/>>, Ziyaret tarihi: 12.06.2018.
- URL-7** < http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=20>, Ziyaret tarihi: 2019.
- URL-8** < <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/landsat/>>, Ziyaret tarihi: 2019.
- URL-9** <http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=49>, Ziyaret tarihi: 2019.
- URL-10** <<https://landsat.usgs.gov/landsat-8>>, Ziyaret tarihi: 2019.
- URL-11**<<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/landsat-8/>>, Ziyaret tarihi: 2019.
- URL-12** <http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=13>, Ziyaret tarihi: 2019.
- URL-13** <<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos/>>, Ziyaret tarihi: 2018.
- URL-14** <<https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0konos>>, Ziyaret tarihi: 14.12.2019.
- URL-15** <<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird/>>, Ziyaret tarihi: 2018.
- URL-16** <http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=22>, Ziyaret tarihi: 2019.
- URL-17**<<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/>>, Ziyaret tarihi: 2018.
- URL-18** <http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=31>, Ziyaret tarihi: 2019.
- URL-19** <http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=50>, Ziyaret tarihi: 2019.
- URL-20**<<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-3/>>, Ziyaret tarihi: 2018.
- URL-21** <http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=64>, Ziyaret tarihi: 2019.
- URL-22**<<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/>>, Ziyaret tarihi: 2018.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

URL-23 <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/overview>>, Ziyaret tarihi: 2019.

URL-24 <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/median.htm>>, Ziyaret tarihi: 2018.

URL-25 <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/median.htm>> Ziyaret tarihi: 2019.

URL-26 <<https://www.harrisgeospatial.com/Support/Self-Help-Tools/Help-Articles/Help-Articles-Detail/ArtMID/10220/ArticleID/15485/ENVI-53-Release-Notes>> Ziyaret tarihi: 2019.

URL-27 <<https://www.harrisgeospatial.com/Support/Self-Help-Tools/Help-Articles/Help-Articles-Detail/ArtMID/10220/ArticleID/15485/ENVI-53-Release-Note>>

URL-28 <<http://pdf.directindustry.com/pdf/south-surveying-mapping-instrument-co-ltd/dual-frequency-digital-echo-sounder-south-sde-28d/160571-732545.html>> Ziyaret tarihi: 2019.



ÖZGEÇMİŞ

14 Eylül 1987 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Karaelmas İlköğretim Okulunda, lise eğitimi Zonguldak Atatürk Lisesinde tamamlamıştır. 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi'nde Harita Kadasto Bölümünü, 2011 yılında Atatürk Üniversitesi İşletme Bölümünü, 2016 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nde Geomatik Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Şu an evli ve bir çocuk annesidir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Meşrutiyet Mah. Rüzgarlımeşe Mevki Topraklar Sitesi A Blok Kat:6
ZONGULDAK/Merkez

Tel: (+90) 372 291 1280

E-posta: bestekilicungor@yahoo.com