

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE KIYILARDA BATİMETRİK ÖLÇÜM**

**Hakan UZAKARA**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZİRAN 2021**

**ANTALYA**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE KIYILARDA BATİMETRİK ÖLÇÜM

Hakan UZAKARA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2021

ANTALYA

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE KIYILARDA BATİMETRİK ÖLÇÜM**

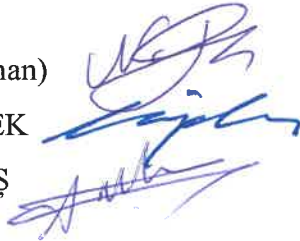
**Hakan UZAKARA**  
**UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ**  
**ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez 24/06/2021 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Nusret DEMİR (Danışman)

Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK

Dr. Öğr. Üyesi Serkan KARAKIŞ



## ÖZET

### UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE KIYILARDA BATİMETRİK ÖLÇÜM

**Hakan UZAKARA**

**Yüksek Lisans Tezi, Uzay bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Nusret DEMİR**

**Haziran 2021; 60 sayfa**

Batimetri, deniz ve okyanus derinlik ölçümleri olarak tanımlanmakta ve birçok yöntemle yapılmaktadır. Geçmişten günümüze kadar hala kullanılan geleneksel yöntemler, teknolojinin gelişmesiyle yerini modern yöntemlere bırakmıştır. Sonar sistemler, LIDAR ve uzaktan algılama sistemleri bu modern yöntemlere örnek olarak verilebilir. Akustik sistemlerin veya LIDAR'ın kullanımı hem zaman hem de maliyet açısından ekonomik değildir. Bu çalışmada zaman ve maliyeti en aza indirmek için uzaktan algılama yöntemleri araştırılmıştır. Batimetri ile ilgili bilgilerin açık kaynak uydu görüntüleri kullanılarak çıkarılması amaçlanmaktadır. Kullanılan yöntem verileri, farklı dalga boylarında alınan Sentinel-2 uydu görüntülerini ve referans batimetri değerlerini içermektedir. Daha sonra bu veriler bant oran yöntemi uygulanarak regresyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen regresyon katsayıları ile derinliği bilinmeyen alanlarda batimetri analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen batimetri haritaları referans batimetri verileri ile değerlendirilmiş, anlamlı sonuçlar sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca OTSU eşikleme algoritmasını kullanarak kıyı çizgisi tespit edilmiştir. Hesaplanan batimetrik veriler ile tespit edilen kıyı çizgisi arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu analizler ardışık dört ay için ayrı ayrı uygulanmış ve türetilen batimetri verilerinin aylık ortalamalarının değişimlerinin, aylık kıyı çizgisi değişimleri ile anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Batimetri, Kıyı Çizgisi, LIDAR, OTSU, Sentinel-2, Uzaktan Algılama

**JÜRİ:** Doç. Dr. Nusret DEMİR

Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK

Dr. Öğr. Üyesi Serkan KARAKIŞ

## **ABSTRACT**

### **BATIMETRIC MEASUREMENT ON THE COAST WITH SATELLITE IMAGES**

**Hakan UZAKARA**

**MSc Thesis in Space Sciences and Technologies**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nusret DEMİR**

**June 2021; 60 pages**

Bathymetry is defined as sea and ocean depth measurements and is made by many methods. Traditional methods, which are still used from the past to the present, have been replaced by modern methods with the development of technology. Sonar systems, LIDAR and remote sensing systems can be given as examples of these modern methods. The use of acoustic systems or LIDAR is not economical in terms of both time and cost. In this study, remote sensing methods have been investigated to minimize time and cost. It is aimed to extract information about bathymetry using free satellite images. The method data used includes Sentinel-2 satellite images taken at different wavelengths and reference bathymetry values. Then, these data were regression analysis using the band ratio method. Bathymetry analyses were performed in areas of unknown depth with the obtained regression coefficients. The obtained bathymetry maps and it was found that they displayed significant results. In addition, the shoreline was determined using the OTSU thresholding algorithm. The relationship between the calculated bathymetric data and the detected shoreline was examined. These analyses were applied separately for four and it was concluded that the monthly averages of the derived bathymetry data were significant with the monthly shoreline change.

**KEYWORDS:** Bathymetry, Coastal Line, LIDAR, OTSU, Remote Sensing, Sentinel-2

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Nusret DEMİR

Assoc. Prof. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK

Asst. Prof. Üyesi Serkan KARAKIŞ

## ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince bilgi birikimini, değerli görüş ve tavsiyelerini esirgemeyen, çalışmanın her aşamasında desteğini hissettiğim danışman hocam Sayın Doç. Dr. Nusret DEMİR'e, değerli katkılarının yanı sıra ilgi ve desteği için sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Hayatım boyunca verdiğim kararlarla yanımda olan, bana yol gösteren, maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
AKADEMİK BEYAN .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK TARAMASI .....	3
2.1. Batimetri Çalışmalarında Aktif Algılayıcılar.....	3
2.1.1. Sonar sistemler .....	3
2.1.2. LIDAR sistemler.....	4
2.1.3. Radar sistemler .....	6
2.2. Batimetri Çalışmalarında Pasif Algılayıcılar .....	7
2.2.1. Optik uydu sistemleri.....	7
2.2.1.1. Ampirik yöntemler .....	8
2.2.1.2. Analitik yöntemler.....	9
2.2.1.3 Makine öğrenimi.....	11
2.3. Batimetri Çalışmalarının Değerlendirmesi .....	12
2.4. Kıyı Çizgisi Tespiti .....	15
3. MATERYAL VE METOT .....	17
3.1. Çalışma Alanı.....	17
3.2. Materyal .....	17
3.3. Metot .....	19
3.3.1. Ön analiz.....	20
3.3.1.1. GNDVI analizi.....	20
3.3.1.2. Güneş parıltısı düzeltme .....	22
3.3.1.3. Histogram eşleştirme .....	22
3.3.2. Batimetri hesabı.....	24

3.3.3. Kıyı çizgisi çıkarımı .....	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	28
5. SONUÇLAR .....	39
6. KAYNAKLAR .....	40
ÖZGEÇMİŞ	



## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Uydu Görüntüleri ile Kıyılarda Batimetrik Ölçüm” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

24/06/2021

Hakan UZAKARA



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

cm	: Santimetre
kHz	: Kilohertz
m	: Metre
nm	: Nanometre

### Kısaltmalar

AWEI	: Otomatik Su Çıkarma İndeksi (Automated Water Extraction Index)
GEE	: Google Earth Engine
HS	: Hiperspektral
LIDAR	: Işık Tespiti ve Ölçümü (Light Detection and Ranging)
MNDWI	: Modifiye Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (Modification of Normalized Difference Water Index)
MODIS	: Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)
MSI	: Multispektral
NCEP	: Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri (National Centers for Environmental Prediction)
NDVI	: Normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi (Normalized Difference Vegetation Index)
NDWI	: Normalleştirilmiş Fark Su İndeksi (Difference Water Index)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1. Lazer ışının tam dalga formu (Eren vd. 2018).....	4
Şekil 2. 2. Ashphaq vd. (2021) çalışmasından, ampirik batimetri çalışmaları (Chen ve Zhu 2015; Chybicki 2018; Dekker vd. 2011; Hamylton vd. 2015; Liceaga-Correa ve Euan-Avila 2002; Manessa vd. 2018; Misra vd. 2018; Su vd. 2008; Tripathi ve Rao 2002; Yunus vd. 2019) .....	9
Şekil 2. 3. Ashphaq vd. (2021) çalışmasından, yarı analitik çalışmalarda kullanılan uydu verileri ve derinlik aralıkları (Brando vd. 2009; Dekker vd. 2011; Hedley vd. 2018; Jay ve Guillaume 2014, 2016; Kakuta vd. 2018; Kerr ve Purkis 2018; Lee vd. 1999; Liew vd. 2012; McKinna vd. 2015; Wong vd. 2018) .....	11
Şekil 2. 4. Uydu verileriyle batimetri çalışmalarının yıl bazında değişimi (Ashphaq vd. 2021). .....	12
Şekil 2. 5. Ashphaq vd. (2021) çalışmasından, optik uydu verileriyle yapılan bazı ampirik çalışmaların derinlik, RMSE ve R2 ile değişimi (Chen ve Zhu 2015; Chybicki 2018; Dekker vd. 2011; Hamylton vd. 2015; Liceaga-Correa ve Euan-Avila 2002; Mishra vd. 2004; Su vd. 2008; Tripathi ve Rao 2002; Yunus vd. 2019) ....	12
Şekil 2. 6. Ashphaq vd. (2021) çalışmasından, a) makine öğrenimi (ML), ampirik (Empirical) ve analitik yöntemlerin (SA) R2 ile değişimi, b) makine öğrenimi, ampirik ve analitik yöntemlerin RMSE ile değişimi. ....	13
Şekil 3. 1. Çalışma alanı .....	17
Şekil 3. 2. İş akış şeması .....	17
Şekil 3. 3. Hesaplanan GNDVI değerleriyle oluşturulan renkli görüntüler; a) 2018 şubat; b) 2019 ocak; c) 2019 şubat; d) 2019 mart .....	21
Şekil 3. 4. 2018 Aralık mavi ve yeşil spektral bantların regresyon grafiği .....	23
Şekil 3. 5. 2019 Ocak mavi ve yeşil spektral bantların regresyon grafiği .....	23
Şekil 3. 6. 2019 Şubat mavi ve yeşil spektral bantların regresyon grafiği.....	24
Şekil 3. 7. 2019 Mart mavi ve yeşil spektral bantların regresyon grafiği.....	27
Şekil 3. 8. 2019 Ocak NIR bandı histogramı .....	26
Şekil 3. 9. NIR bandına eşik değerleri uygulandıktan sonra elde edilen kara ve deniz sınıfları, karaya ait bölgeler siyah, denize ait bölgeler beyaz renkte gösterilmiştir; a) 2018 aralık; b) 2019 ocak; c) 2019 şubat; d) 2019 mart.....	27
Şekil 4. 1. 2018 Aralık; derinlik değerleri ile bant oran değerleri arasındaki ilişki.....	28
Şekil 4. 2. 2019 Ocak; derinlik değerleri ile bant oran değerleri arasındaki ilişki .....	28
Şekil 4. 3. 2019 Şubat; derinlik değerleri ile bant oran değerleri arasındaki ilişki.....	30
Şekil 4. 4. 2019 Mart; derinlik değerleri ile bant oran değerleri arasındaki ilişki .....	30
Şekil 4. 5. Bölgenin 2017 Eylül ayı referans haritası .....	32
Şekil 4. 6. 2018 Aralık hesaplanan batimetri haritası .....	33
Şekil 4. 7. 2018 Ocak hesaplanan batimetri haritası.....	33
Şekil 4. 8. 2018 Şubat hesaplanan batimetri haritası .....	33
Şekil 4. 9. 2018 Mart hesaplanan batimetri haritası.....	34
Şekil 4. 10. 2017 referans ve 2018 Aralık ayı kıyı çizgileri gösterimi .....	36
Şekil 4. 11. 2017 referans ve 2018 Ocak ayı kıyı çizgileri gösterimi .....	36

<b>Şekil 4. 12.</b> 2017 referans ve 2019 Şubat ayı kıyı çizgileri gösterimi .....	37
<b>Şekil 4. 13.</b> 2017 referans ve 2018 Mart ayı kıyı çizgileri gösterimi.....	37

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1. Batimetri teknikleri (Ashphaq vd. 2021; Jawak vd. 2015).....	14
Çizelge 3. 1. Sentinel-2 spektral bant özellikleri .....	18
Çizelge 3. 2. Görüntü alım tarihlerine ait mavi ve yeşil bantların aralarındaki korelasyon değerleri .....	24
Çizelge 4. 1. Dört ayın kalibrasyon, R2 ve korelasyon değerleri .....	30
Çizelge 4. 2. Ortalama derinlik değerleri .....	31
Çizelge 4. 3. 2017 referans kıyı çizgisinden olan uzaklıklar .....	31
Çizelge 4. 4. Hesaplanan batimetri verilerinin hata miktarları .....	32
Çizelge 4. 5. Güncellenen batimetri verilerinin hata miktarları.....	34
Çizelge 4. 6. Batimetri verilerinin güncellemeden önceki ve sonraki ortalama değerleri.....	34
Çizelge 4. 7. Bir önceki ayın kıyı çizgisi referans alınarak ortalama kıyı çizgisinin değişimi .....	35

## 1. GİRİŞ

Gezegelimiz Dünya'nın yaklaşık üçte ikisi sularla kaplıdır. Dolayısıyla su yaşam için önemli bir kaynaktır. İklim değişiklikleri, küresel ısınma ve insan faktörleri başlıca su alanlarının yok olmasına ve değişimine neden olmaktadır. Bahsedilen bu etkiler en fazla kıyı bölgelerini etkilemektedir. Kıyı bölgelerinde su seviyesinin yükselmesi veya azalması, kıyı bölgesindeki yerleşim alanlarını, deniz taşımacılığını, deniz turizmini ve limanları önemli ölçüde etkilemektedir. Bu etkilerin giderilmesi ve azaltılması için bölgedeki su alanlarının batimetri değerleri önemli parametrelerden biridir. Batimetri; okyanus, deniz ve göl gibi alanların derinlik ölçümleri olarak tanımlanabilir. Su alanlarının batimetri değerlerinin güncel olması, yukarıda bahsedilen etkilerin giderilmesi veya ön görülmesi için önemlidir.

Geçmişten günümüze batimetri analizleri birçok yöntemle yapılmaktadır. Sonar sistemler, LIDAR ve uydu görüntüleri başlıca analiz yöntemleridir. Sonar ve LIDAR sistemleri, deniz topografyasını ve fiziksel özelliklerini sırasıyla ses dalgaları ve lazer ışığı ile ölçen aktif uzaktan algılama sistemleridir (Brock vd. 2004; Dartnell ve Gardner 2004). Teknolojinin gelişmesiyle, birçok yer gözlem uydusu (Sentinel, Landsat, QuickBird vb.) Dünya'nın yörüngesine atılmış ve farklı dalga boylarında görüntü almaktadırlar. Her bir dalga boyunda alınan görüntüler farklı bilgiler içerir. Bu bilgiler tarım, kentsel planlama, orman alanlarının izlenmesi, su yönetimi vb. uygulama alanlarında kullanılarak çeşitli analizler yapılmaktadır.

Uydu görüntüleri kullanarak türetilen batimetri, sonar veya LIDAR sistemleriyle yapılan batimetri analizlerine göre daha düşük doğruluğa sahiptir. Ancak geniş alan kabiliyeti, düşük maliyeti, kısa sürede sonuç alınması ve temasın kolay olmadığı bölgelerin analizine imkân vermektedir (Gao 2009). Bu geleneksel yöntemlerin zorluklarının ve dezavantajlarının üstesinden gelmek için, sığ su derinliklerinin daha iyi tahmin edilmesi için yıllar boyunca uydu tabanlı uzaktan algılama teknikleri geliştirilmiştir (Pacheco vd. 2015). Uydular aktif uzaktan algılama sistemleri ve pasif uzaktan algılama sistemleri olarak ikiye ayrılır. Aktif uzaktan algılama, kendi enerjisini üreterek, ürettiği enerjinin geri yansımalarını toplarlar. Pasif uzaktan algılama, herhangi bir enerji üretmezler ve güneş radyasyonunu kullanırlar. Bu uydulara örnek olarak aktif uydulara Sentinel-1 radar uydusu, pasif uydulara Sentinel-2, Landsat vb. uydular örnek olarak verilebilir. Pasif uzaktan algılama sistemleri ile yapılan batimetri analizleri, temelde yansıyan enerji ile su derinliği arasındaki istatistiksel ilişkiye dayanmaktadır. Uydu görüntüsünün her pikseli için, sensörün algıladığı enerji miktarı ile o piksel konumundaki suyun derinliği arasında istatistiksel bir ilişki vardır. Bu ilişkiden çeşitli hesaplama algoritmalarıyla yararlanılabilir (Kumari ve Ramesh, 2020). Bu algoritmaların çoğu bilinen referans batimetri noktalarına ihtiyaç duymaktadır (Jawak ve Luis 2015).

Uydu görüntüleri farklı uzamsal çözünürlüğe sahiptir (+100 m – 31 cm). Yalnızca 30 m'den yüksek çözünürlüğe sahip görüntüler batimetri analizleri için uygundur. Çünkü

uydu görüntülerinden türetilen batimetri piksel başına ortalama bir derinlik ile sonuçlanır (Du Bois 2011). Uydu görüntülerinden batimetri türetme için yüksek çözünürlüklü (birkaç metreden az) WorldVIEW-2 ve RapidEye gibi uydular, orta çözünürlüklü (10 – 30 m) Landsat-8 ve Sentinel-2, 3 gibi uydular sığ bölgelerin batimetri analizleri için giderek fazla test edilmektedir (Caballero ve Stumpf 2019; Stumpf vd. 2003). Yapılan batimetri analizlerinde kullanılan uydu görüntülerin uzamsal ve spektral çözünürlüğü, uydunun görüş açısı, atmosferik etkiler, gelgit seviyesi, güneş ışığı ve batık bitki örtüsü doğruluğu etkileyen başlıca faktörlerdir. Uydu görüntülerin dikkatli seçimi ve görüntü işleme ile bu etkilerin bazıları giderilebilir.

Bu tez çalışmasında Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak batimetri analizleri amaçlanmıştır. Ayrıca hesaplanan batimetri değerlerindeki değişimlerin kıyı çizgisi değişimi ile ilişkisi incelenmiştir. Yöntem, ilgili konumdaki referans batimetri değerlerine karşılık gelen, uydu sensörünün kaydetmiş olduğu enerji değerleri arasında regresyon analizlerini içermektedir. Regresyon analizleriyle hesaplanan katsayılar kullanılarak, derinliği bilinmeyen alanlar için batimetri tahmini yapan deneysel bir yöntemdir. Literatürde kullanılan diğer yöntemlere göre uygulanması daha kolay ve hızlı sonuçlar vermektedir.

Tezin ikinci bölümünde, literatürde farklı veri sistemlerinden elde edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilen batimetri analizlerinden bahsedilmiştir. Özellikle sonar, LIDAR, radar ve optik uydu verileri kullanan çalışmalar ele alınmıştır. Ayrıca kıyı çizgisi tespiti için yapılan çalışmalardan da bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma alanı, kullanılan veriler, yöntem ve analizde kullanılan araçlar hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde yapılan batimetrik analizler kalite analizi ve kıyı çizgisindeki değişimler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Son olarak beşinci bölümde ise yapılan analiz sonuçları tartışılmıştır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Batimetri Çalışmalarında Aktif Algılayıcılar

Aktif algılayıcılar kendi enerjilerini üretebilen sistemlerdir. Bu sistemler üretmiş oldukları enerjiyi hedef cisme göndererek, geri dönen enerjiyi toplarlar ve görüntü elde ederler.

#### 2.1.1. Sonar sistemler

Geçmiş batimetri çalışmalarında sonar sistemler hâkim olmuştur. Bu teknoloji, daha güvenilir ekipmanların piyasaya sürülmesiyle zamanla gelişmiştir. Sonar sistemler gemilere monte edilerek analiz yapmaktadır. Bu nedenle batimetrik verilerin elde edilme hızı geminin hızı ile sınırlıdır. Hidrografik araştırmalarda gemilerin sığ sularda güvenli bir şekilde çalışmaması kıyı sularında araştırmaları etkilemiştir (Pillai vd. 2000). Sonar sistemler, su kütlesine doğru ses dalgaları gönderen, ses dalgalarının sudaki hareket süresi ve sudaki hızına bağlı olarak su derinliğini hesaplayan aktif bir uzaktan algılama yöntemidir (Kasvi vd. 2019). Başlangıçta sonar sistemler deniz uygulamaları için geliştirilmiş fakat zamanla iç sularda da kullanılmaya başlanmıştır (Dost ve Mannaerts 2008). Bu sistemler yüksek frekanslarda ( >500 kHz ) çalışır ve yüksek çözünürlüklü görüntüler ( <0,1 m piksel ) üretirler (Powers vd. 2015). Sığ sularda analizler için sonar sistemler uzaktan kumandalı sistemlere monte edilerek analizler yapabilmektedir (Flener vd. 2015).

Sánchez-Carnero vd. (2012) tek ışınlı sonar sistemi olan EA400P (Simrad) ile İspanya'nın Galiçyaca sahil bölgesinde batimetri analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı tek ışın ekosundur ve ücretsiz açık kaynak yazılımı kullanılarak, kıyı bölgelerin batimetrisini ve kullanılan metodolojiyi test etmektir. Bu sistem gemi güzergahı boyunca kıyıya paralel olarak veri almıştır. Bu veriler batimetrik yüzey elde etmek için düzeltme, filtreleme ve enterpole edilmiştir (Tortell 1992). Tek ışınlı batimetri üretimi için mevcut metodolojilerle ilgili üç ana konu ele alınmıştır;

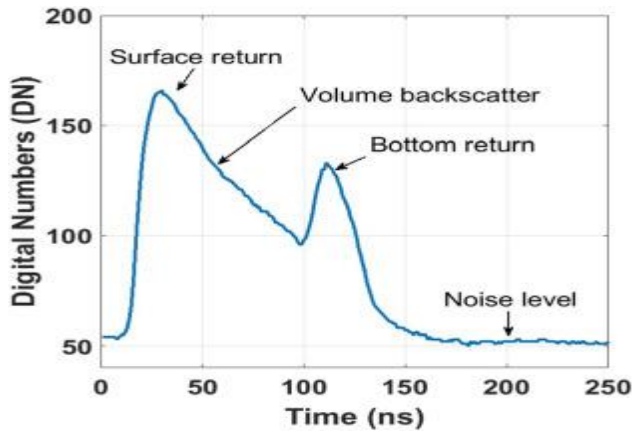
1. Enterpolasyon algoritmasından kaynaklanan konum hatalarını azaltmak için Monte Carlo yaklaşımı kullanılmıştır.
2. Alan ve kıyı hattı ön bilgilerini içeren uzman bir batimetrik hat düzeltme prosedürü uygulanmıştır.
3. Gerçek ölçümlerden tahmini batimetri sapmasını ölçmek için enterpolasyona dahil edilmeyen, akustik geçişlere dayalı bir çapraz doğrulama tasarımı uygulanmıştır.

Akustik veri dosyaları açık kaynaklı ECOSONS yazılımı ile batimetri analizi yapılmıştır ve yazılımla tekne eğimi, tekne hareketi, GPS hatası ve gelgitlerden kaynaklanan hatalar minimize edilmiştir. Yapılan batimetri analizi sonucunda %95 güven düzeyinde 1,7 metreden daha az hatalar tespit edilmiştir.



### 2.1.2. LIDAR sistemler

Uçak ve drone gibi hava araçlarına monte edilen LIDAR sistemler, batimetri çalışmalarında kullanılmaktadır. Hava araçlarına bağlı bu sistemler su, hava yani alıcı ile hedef arasında hareket eden lazer ışınlarının, gidiş dönüş sinyallerini ölçen aktif bir uzaktan algılama tekniğidir (Schwarz vd. 2019). Bu teknik kıyı batimetri çalışmaları için etkili bir yöntemdir. Gemi veya tekne tabanlı bir platformdaki sonar sistemleri ile elde edilen batimetri değerlerine en yakın değerler LIDAR sistemleri ile alınmıştır (Abdallah vd. 2012; Guo vd. 2018; Reitberger vd. 2008; Richter vd. 2017; Schwarz vd. 2019; Wang vd. 2015; Wu vd. 2011; Zhao vd. 2018). Pasif uzaktan algılama yöntemleri ile karşılaştırıldığında (Optik), görünür derinliğin 2, 3 katı derinliklere kadar çalışma imkânı vermektedir (Guenther vd. 2000). LIDAR sistemler, batimetri çalışmalarında yeşil lazer (532 nm) ışınları göndermektedir (Guenther 1985; Hickman ve Hogg 1969; Nagle ve Wright 2016; Pe'Eri ve Philpot 2007). Hava platformundan gönderilen bu ışınlar atmosfer, su yüzeyi, su kolonu ve deniz tabanı ile etkileşime girerek hava platformundaki alıcıya ulaşmaktadır. Bu etkileşimler su yüzeyinden yansıma, su kolonundan geri saçılma ve dip yansıması olarak dalga formunda Şekil 1'deki gibi görünmektedir.



Şekil 2. 1. Lazer ışının tam dalga formu (Eren vd. 2018)

Son zamanlarda foton sayan sensörlerin yardımıyla donatılmış uydu tabanlı ICESat-2 (Buz, Bulut ve Kara yükseklik uydusu-2) LIDAR uydusu 40 m derinliğe kadar batimetri verileri elde etmiştir. Bu veriler uydu tabanlı hiperspektral / multispektral ve SAR sensörlerinden daha yüksek batimetrik doğruluğa sahip olduğu görülmüştür (Parrish vd. 2019). ICESat-2, saniyede 10.000 defa ışın göndermektedir (10 kHz), gönderilen ışınların kapladığı alan çapı 17 m ve iz boyunca örnekleme aralığı 0,7 m olan yeşil lazer ışığı (532 nm) kullanmaktadır (Smith vd. 2019). Uydunun göndermiş olduğu tek bir lazer darbesinden, 6 ile 12 foton sensöre geri dönmektedir. Bu olayların her biri ayrı ayrı kaydedilir ve bu yöntemle foton sayma tekniği adı verilmiştir (Jasinski vd. 2016; Y. Li vd. 2019; McGill vd. 2013; Smith vd. 2019).

Foton sayma tekniği kullanılarak yapılan batimetri analizlerinde su yüzeyinden yansıyan fotonların yoğunluğu, su sütunundan (su yüzeyinden deniz tabanına kadar olan kesit) daha yüksek olması, deniz tabanından yansıyan fotonların tespitini zorlaştırmaktadır. Ayrıca fotonların yoğunluk dağılımı derinlik ile azalmaktadır. Ek olarak fotonların yoğunluk dağılımı su berraklığı, çevre ve konum ile değişmektedir. Bu tür sorunlar ortadan kaldırılabilirse, kıyıya yakın batimetrinin doğruluğu ve verimliliği, özellikle erişilmesi zor alanlar için iyileştirilebilir. Ancak bu yöntemler sadece çeşitli arazi örtüsü türleri için türetilmiştir ve su sütunundaki foton verilerinin özellikleri ve yoğunluk dağılımları batimetride dikkate alınmamaktadır. Şu anda, foton verilerinin etkili işlenmesi ve tespiti için veya gerçek batimetri gerçekleştirmek için uygun bir yöntem mevcut değildir (Chen vd. 2021).

Zhang vd. (2021) ICESat-2 LIDAR uydusu, MODIS (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi) ve NCEP (Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri) veri kümelerinin sistem parametrelerini kullanarak teorik bir model oluşturup, 6 farklı bölgede batimetri analizi yapmışlardır. Teorik modelden elde edilen batimetri değerleri, ICESat-2 gerçek batimetri değerleri ile karşılaştırılarak modelin hata miktarlarını hesaplamışlardır. Foton sayan LIDAR sistemlerinde model, çevresel etkiler ve sinyal / gürültü oranının kısıtlaması dikkate alınarak önermişlerdir. Her çalışma alanı için MODIS veri setlerinden absorpsiyon katsayısı ve toplam geri saçılma katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu katsayılar, ICESat-2'nin çalışma alanı üzerinde uçmuş olduğu süre, enlem ve boylama bağlı olarak hacimsel geri saçılma ve NCEP veri kümelerinden yerel deniz seviyesi üzerindeki rüzgâr hızını tespit etmişlerdir. Son olarak elde edilen çevresel parametreler ve sistem parametreleri kullanılarak batimetri hesabı yapmışlardır. Model genel olarak, altı çalışma alanında, elde edilen teorik derinlikler, ICESat-2'den gözlemlenen derinliklerle uyumlu olduğu görülmüştür. Ortalama mutlak hata ve RMSE (kök ortalama kare hatası) sırasıyla 0,50 m ve 0,60 m tespit etmişlerdir. Sonuç olarak önerilen batimetrik modelin uydu foton sayma lidarları için etkili bir yöntem olduğunu önermişlerdir. Chen vd. (2021) Güney Çin denizinde yer alan Yongle ve Qilanyu adalarında ICESat-2 LIDAR uydu verilerini kullanarak üç farklı alanda batimetri analizi yapmışlardır. Kullandıkları yöntem, artan su derinliği ile su kolonu fotonlarının yoğunluk dağılımındaki değişikliklere ve özelliklerine dayanan bir model olduğunu belirtmişler ve modele uyarlanabilir değişken elips filtreleme batimetrik yöntem adını vermişlerdir. Yöntem;

1. Gauss eğrisinin uydurulması
2. Su üstü, su yüzeyi ve su kolonu fotonlarının ayrılması
3. Eliptik filtrenin başlangıç parametrelerinin belirlenmesi
4. İlk elips filtre ile su kolonu foton yoğunluğu arasındaki ilişkinin kurulması
5. Tespit edilen farklı türlerdeki etkili fotonların tespiti ve uydurulması

işlem basamaklarını içermektedir. Üç çalışma bölgesinde hesaplanan batimetri değerleri, bilinen derinliklerle karşılaştırılarak hata analizi yapmışlar ve RMSE değerlerini 0,63m, 0,87m, 0,75m bulmuşlardır. Sonuç olarak kullanılan yöntemin batimetri analizleri için

yüksek doğruluğa sahip olduğunu önermişlerdir. Kotilainen ve Kaskela (2017) Finlandiya Kvarken takım adalarında LIDAR ve sonar sistemleriyle batimetri analizleri gerçekleştirmişlerdir. Sonar veriler; sismik profillemeye (ELMA, 400-700 Hz), dip profilleyici (MeriData MD 28 kHz) ve yan taramalı sonar (Klein SA 350, 100 kHz) cihazları aynı anda çalıştırılarak veriler alınmıştır. LIDAR verileri ise kızılötesi (1064 nm) ve yeşil (532 nm) lazerlere sahip Hawk Eye II sisteminden elde edilmiştir. LIDAR verileri Terrascan yazılım platformu ile sonar veriler ArcMap'te Spatial Analyst araç kutusu kullanılarak işlenmiş ve batimetri değerleri elde edilmiştir. Çalışmada akustik verilerin alınmadığı bazı sığ alanlarda LIDAR sistemlerinin daha avantajlı olduğu görülmüştür. Her iki sisteminde hesaplanan batimetri değerleri arasında güçlü bir korelasyon ( $R^2 = 0,984$ ) tespit edilmiştir.

### 2.1.3. Radar sistemler

Diğer yöntemlere ek olarak sığ su derinliklerini tespit etmek için, SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) temelli yöntemler kullanılmaktadır. Mikrodalga sinyalleri deniz tabanına ulaşmaması yanında, bulutlu ve yağmurlu havalarda bile SAR görüntülerinden batimetrik bilgiler tespit edilebilmektedir. Bu nedenle SAR temelli yöntemler, diğer yöntemlerin farklı hava koşullarında ve bulanık sularda yetersiz kaldığı durumlarda bir avantaja sahiptir (Bian vd. 2018). Yöntemlerde temel veri denizlerdeki akıntı veya dalgalardır. Genel olarak su derinliğindeki değişikliklere bağlı olarak, radar imzasına dayalı geliştirilmiş iki yöntem kullanılmaktadır (Bian vd. 2016). Birincisi, radar geri saçılımı için deniz yüzeyindeki dalgalar ile akıntıya dayalı görüntü varyasyonlarına dayanmaktadır (Alpers ve Hennings 1984; Calkoen vd. 2001; Stockdon ve Holman 2000). İkinci yöntem, kıyıya doğru ilerleyen dalgaların yüzey yerçekimi nedeniyle dalgaların kırılmasına dayanan SAR görüntülerindeki şişme modellerine dayanmaktadır (Brusch vd. 2011; Liu vd. 1985; Pleskachevsky vd. 2011; Wackerman vd. 1998). SAR uyduları uygun gelgit akıntı hızı ( $>0,5$  m/s ) ve rüzgâr hızı ( 3-10 m/s ) koşullarında batimetri analizleri gerçekleştirebilmektedir (Bian vd. 2020). Sığ su dalgaları sığ bölgelerin batimetrik özellikleri hakkında bilgiler sağlamaktadır. Önceki çalışmalarda kullanılan, L-bandı (20 cm) (Boccia vd. 2015), S-bandı (10 cm) (Bian vd. 2016), C-bandı (5cm) (Bian vd. 2017) ve X-bandı (3cm) (Pereira vd. 2019) verilerini kullanarak şişme tabanlı yöntemlerle sığ su derinliklerini tahmin etmişlerdir. Holman vd. (2013) kalman filtreli bir güncelleme penceresi ile dalga hızı gözlemlerinden kıyıya yakın batimetriyi tahmin etmek için cBathy algoritma yöntemini kullanmışlardır. Dalga hızlarını, video görüntü gözlemlerinden türetmiş ve kıyıya yakın batimetriyi tahmin etmek için doğrusal dalga dağılım ilişkisini tersine çevirmişlerdir. Tahmin edilen değerler, gerçek değerlerle karşılaştırılarak başarılı bir şekilde doğrulanmış ve cBathy algoritma becerisi fırtınalı havalarda doğru sonuçlar vermediğini bildirmişlerdir. Bak vd. (2019) cBathy algoritmasının uygulanabilir olması için 17 m derinlikte 1,2 m dalga yüksekliği eşik değeri olarak kabul etmişlerdir. Dalga yüksekliğinin eşik değerini aştığı zamanlarda, batimetri tahminlerinde yarım saatlik güncellemeleri filtrelemek için mevcut algoritmayı

değiştirmişlerdir. Değişen algoritmayla yapılan batimetri tahminleri, yakın kıyıya yerleştirilmiş sonar altimetreleri kullanılarak yapılan yerinde su derinliği gözlemleriyle karşılaştırıldığında bu modifikasyonun performansı artırdığını bulmuşlardır.

## 2.2. Batimetri Çalışmalarında Pasif Algılayıcılar

Pasif sistemler görüntüleyecekleri nesnenin yansıyıp algılayıcıya ulaşan ya da nesne tarafından yayılan doğal enerjiyi kullanırlar. Dolayısıyla yeryüzünden yansıyan Güneş ışığını ya da nesnenin yaydığı termal enerjiyi algılayarak görüntüye dönüştüren sistemlerdir. Bu bölümde literatürde batimetri analizleri için en çok kullanılan ve geliştirilmekte olan, optik uydu görüntülerinden türetilen batimetri çalışmaları ele alınmıştır.

### 2.2.1. Optik uydu sistemleri

Uydudan türetilmiş batimetri (Satellite-derived bathymetry (SDB)), geniş bir alan üzerinde hızlı ve verimli bir şekilde yüksek çözünürlüklü batimetrik haritalama sağlayan uygun maliyetli bir alternatif metodoloji olarak ortaya çıkmaktadır (Cahalane vd. 2019). Bu metodolojiler dünya çapında çeşitli multispektral uydularla değerlendirilmiştir. (örnek; Lyons vd. 2011; Poursanidis vd. 2019). Batimetriyi, multispektral uydu görüntülerinden türetme metodolojisi, farklı dalga boylarında su kolonuna giren ışığın etkileşimi sonucunda, deniz suyunun özellikleri tespit edilebilmiştir ve ilk olarak 70'lerde batimetri araştırmaları için alternatif olarak önerilmiştir (Lyzenga 1978). Bu alternatif yöntem, sığ kıyı sularında yapılan batimetri analizlerinde düşük maliyet, zamansal ve mekânsal süreklilik sağlamaktadır. Optik uydu görüntüleri ile yapılan batimetri analizleri 30 m'den daha sığ berrak sularda, analiz potansiyeline sahiptir (Dekker vd. 2011; Eugenio vd. 2015).

Optik uydu görüntülerinden batimetri tahmin yöntemleri, ampirik (deneysel) ve analitik yöntemler olmak üzere genel olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Bazı araştırmacılar da aynı çalışmaları istatistiksel temelli ve fizik temelli yöntemler olarak sınıflandırmıştır (Dekker vd. 2011). İstatistiksel yaklaşım basittir ve birkaç istatistiksel teknik içeren ampirik yöntemlerle yürütülebilir. Ampirik yöntemler en uzun geçmişe sahip ve halen sık kullanılan bir yöntemdir. Analitik yöntemler, tamamen su bileşenlerinin Biyo-fizyo-optik özelliklerine dayalı olarak bir su kütlesi içindeki ışığın fizikine dayanan algoritmalara atıfta bulunmaktadır (Ashphaq vd. 2021). Bununla birlikte, analitik yöntem, pratik olarak uygulaması zor ve karmaşık bir matematik problemi olarak kabul edilmiştir (Mouw vd. 2015; Werdell vd. 2018). Her iki yöntemde de dikkat edilmesi gereken en önemli husus atmosferik etkidir. Atmosferik etkilerin giderilmesi, doğru batimetri verileri elde etmek için kritik bir adım olarak kabul edilmektedir (Brando vd. 2009; Dekker vd. 2011; Goodman vd. 2008).

### 2.2.1.1. Ampirik yöntemler

Ampirik yöntemler, derinliği bilinen noktalardaki verileri istatistiksel işlemler uygulanarak, elde edilen istatistik verileriyle batimetri tahmini yapmaktadır. Uydu görüntüsüne ait bandın, derinlik parametreleriyle ilişki derecesini tahmin etmek için regresyon analizleri, sinir ağları vb. istatistiksel işlemleri kullanmaktadır. Regresyon teknikleri uygulaması kolay olması yanında, bazı bölgelerde dipte yer alan bitki örtüsü hatalara neden olmaktadır (Doxani vd. 2012). Bu yüzden farklı dip türlerinde ayrı bir regresyon algoritmaları oluşturulabilir (Gao 2009). Uydulara ait mavi ve yeşil spektral bantların suda üstel olarak zayıf yansması ve bu bantların birbiriyle oranıyla, batimetri tahminlerinde yüzde 70'lik doğruluğa ulaşılmıştır (Benny ve Dawson 1983; Paredes ve Spero 1983; Polcyn ve Rollin 1969). Daha sonra logaritmik doğrusal dönüşüm teknikleri ile modifiye edilerek çift bantlı ve çok bantlı olarak genişletilmiştir (Clark vd. 1987; Lyzenga vd. 2006; Warne 1978). Stumpf vd. (2003) yılında sığ resiflerde batimetriyi belirlemek için doğrusal dönüşüm yerine bir bant oran modeli yayınlamıştır. Model çeşitli bölgelerde kullanılarak büyük bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür (Chybicki 2017; Halls ve Costin 2016). Bant oran yöntemi kıyı su kütlelerinde derinlik değerlerinin belirlenmesinde daha fazla yeterliliğe ve dip türlerinde yüksek varyasyona sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Doğrusal dönüşüm yöntemlerinin kullanılmasının ise daha az doğru sonuçlara yol açabileceğini bildirmişlerdir. (Kabiri 2017). Aşağıdaki denklem bant oran modelini göstermektedir.

$$z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_j))}{\ln(nR_w(\lambda_i))} - m_0 \quad (2.1)$$

Burada z derinlik, n denklemin pozitif çıkması için bir sabit,  $R_w$  kullanılan bandın spektral yansması,  $m_0$  ve  $m_1$  denklemin katsayılarıdır (Stumpf vd. 2003). Caballero ve Stumpf (2019) Florida kıyılarında Sentinel-2A ve 2B uydu görüntüleriyle bant oran dönüşümünü kullanarak üç farklı bölgede batimetri analizleri yapmışlardır. Analiz sonucunda, kıyıdan 18 metreye kadar olan alanlarda, ortalama 0,5 metre hatayla başarılı batimetri hesabını gerçekleştirmişlerdir. J. Li vd. (2019) Planet Dove uydu görüntülerini kullanarak, Deniz Feneri Resifi, Saona Adası, Heron Adası, Hawaii Adası ve St. Croix bölgelerinde bant oran yöntemini kullanarak analiz gerçekleştirmişlerdir ve RMSE değerleri 1,22 m ile 1,86 m arasında değiştiğini bulmuşlardır. Yöntemin 4 ile 10 metre derinliğe sahip bölgede en iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir.

Lyzenga (1978) oran tekniğini değiştirerek, logaritmik doğrusal dönüşümü kullanan algoritmalar geliştirmiştir. Bu teknik, iki veya daha fazla bant kullanılarak, derinliği bulmada dip yansmaları için bağımsız bir düzeltme ve uydudan türetilen derinlik ile su yansması arasında doğrusal bir çözüm sağlayabileceğini belirtmiştir.

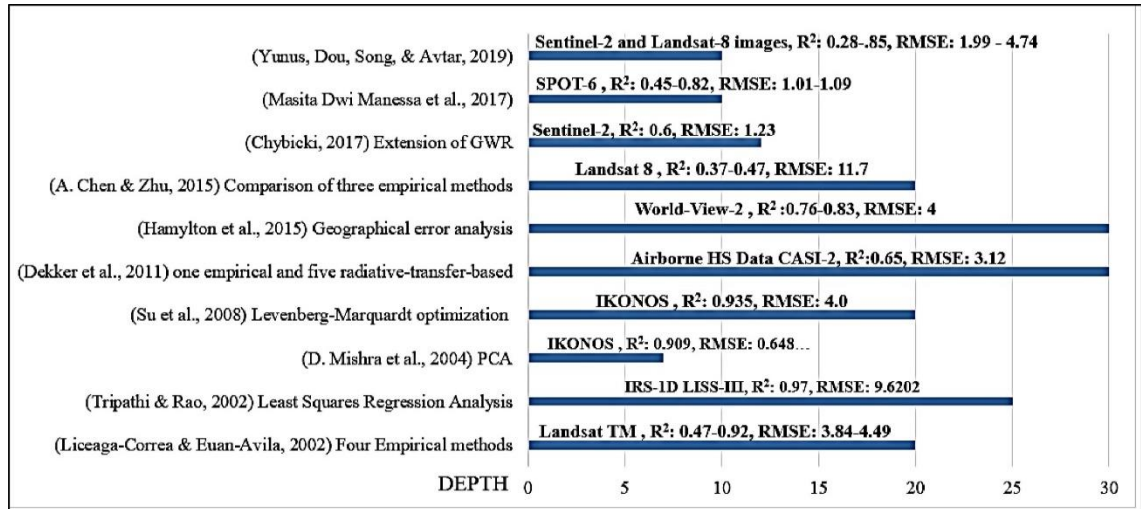
$$z = a_0 + a_i(X_i) + a_j(X_j) + a_k(X_k) \quad (2.2)$$

$$X_i = \ln[R_w(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_i)] \quad (2.3)$$

$$X_j = \ln[R_w(\lambda_j) - R_\infty(\lambda_j)] \quad (2.4)$$

$$X_k = \ln[R_w(\lambda_k) - R_\infty(\lambda_k)] \quad (2.5)$$

burada  $z$  derinlik,  $R_\infty$   $i, j, k$  bantları için derin su parlaklığı,  $R_w$   $i, j, k$  bantlarının yüzey üstü yansıtma değerleri,  $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k$  kullanılan bantlar ve  $a_0, a_i, a_j, a_k$  referans derinlik verileri ile çoklu regresyon ile hesaplanan katsayılarıdır. Lyzenga (1985) Bahama Adalarında iki bölgede multispektral hibrit bir hava sensörünü kullanarak, 0-10 m aralığında batimetri analizi gerçekleştirmiştir ve RMSE değerini 0,928 m tespit etmiştir. Pacheco vd. (2015) Portekiz'in Ria Formosa kıyılarında Landsat-8 görüntülerini kullanarak, doğrusal bant tekniği ile batimetri analizi gerçekleştirmişler ve RMSE değerini 0,89 m tespit etmişlerdir. Bu tekniğe dayalı algoritmalar, homojen su optik özellikleri ve taban yansımaları olan alanlara uygulanabilmektedir. Aynı zamanda güneş ışığını da hesaba katar, operasyonel esneklik sağlar, deniz tabanını daha iyi ayırt eder, ikiden fazla bant kullanımıyla daha iyi performans sağlamaktadır (Lyzenga vd. 2006). Ampirik yöntemleri kullanan bazı çalışmaların uydu verileri ve derinlik aralığı aşağıdaki Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



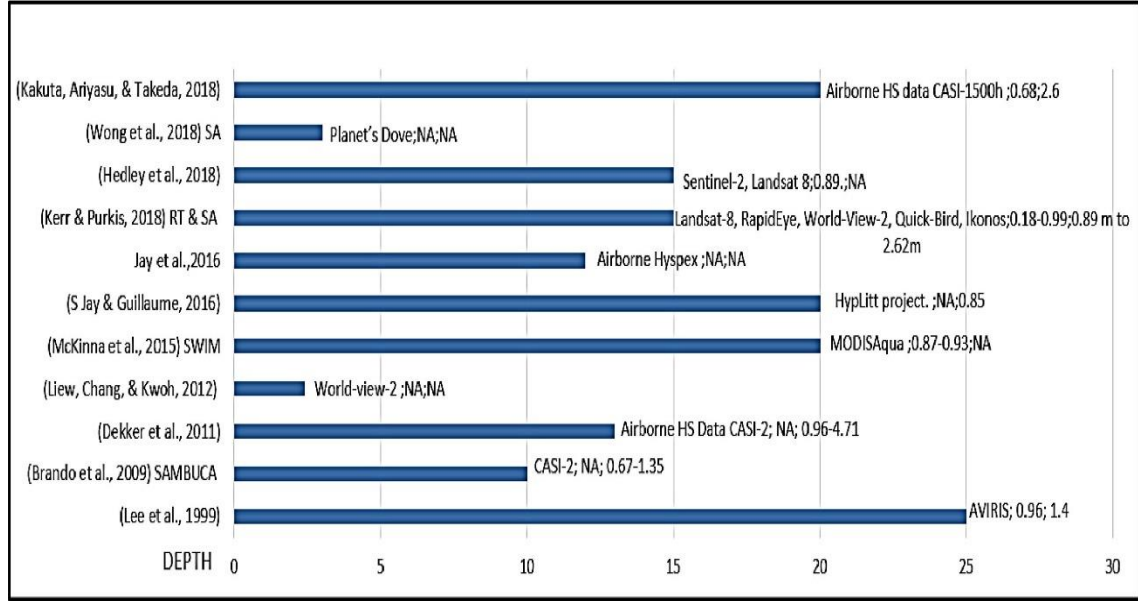
**Şekil 2. 2.** Ashphaq vd. (2021) çalışmasından, ampirik batimetri çalışmaları (Chen ve Zhu 2015; Chybicki 2018; Dekker vd. 2011; Hamylton vd. 2015; Liceaga-Correa ve Euan-Avila 2002; Manessa vd. 2018; Misra vd. 2018; Su vd. 2008; Tripathi ve Rao 2002; Yunus vd. 2019)

### 2.2.1.2. Analitik yöntemler

Analitik yöntemler, su sütunundaki ışığın üstel olarak zayıflaması ve ışığın su sütunundan yansımaya veya deniz tabanından yansımaya dayanmaktadır (Bramante vd. 2013). Analitik yaklaşımlar genellikle, su sütunu ve çevresel parametrelerin fiziksel özelliklerini tahmin etmekte ve açıklamaktadır, örneğin klorofil konsantrasyonu, spektral

şekil, absorpsiyon, geri saçılma katsayıları ve su derinliği (Brando vd. 2009; Lee vd. 1999). Gordon ve Morel (2012) göre analitik yöntemler doğrudan radyatif transfer teorisini kullanır ve suyun geri saçılma ve soğurma katsayılarını tanımlamaktadır. Analitik yaklaşımlar çok bantlı verilerle iyi uyum gösterse de esas olarak hiperspektral verilere ve temiz su ortamlarında odaklanmıştır (Goodman vd. 2008; Halls ve Costin 2016; Hedley vd. 2018). Bu yöntemin doğruluğu yüksektir ancak su sütunu ve deniz tabanı ile ilgili birçok parametreye ihtiyaç duyduğundan uygulaması çok karmaşık ve zordur (Albert ve Mobley 2003; Jawak vd. 2015). Sudan elde edilen bu optik özellikler ve bileşen konsantrasyonları, daha sonra regresyon analizleri, eğri uydurma, sinir ağları vb. yollarla ters çevrilen radyatif transfer modelleri ile fiziksel olarak ilişkilidir. Bu ilişkiyle dip tipini ve su derinliği bilgilerini aynı anda elde etmektedir (Bramante vd. 2013; Hamylton vd. 2015; Hedley vd. 2018; Olayinka ve Knudby 2019). Analitik yöntemler atmosferik etkilere oldukça duyarlıdır. Bu yüzden atmosferik düzeltmede küçük hatalar büyük hatalara neden olmaktadır (Caballero vd. 2019). Analitik yöntemin bir diğer kısıtlaması, kıyı sularındaki su bileşenlerinin modellenme tarihleriyle uydu görüntü alma tarihleri eş zamanlı olması gerekmektedir (Ashphaq vd. 2021). Hedley vd. (2009) Avustralya'da 0-20 m derinlik aralığı için 17-Band CASI HS görüntüleriyle analitik Adaptive Look-Up Tree (ALUT) tekniğini kullanmışlar ve iyi bir  $R^2=0,91$  değeri elde ettiklerini bildirmişlerdir. Hedley vd. (2018) Avustralya'da Sentinel-2 ve Landsat-8 verilerini kullanarak, 0 ile 30 m arasında değişen derinliklerde batimetri analizi gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonucunda derinliği 15 m'ye kadar olan bölgelerde  $R^2=0,89$  tespit etmişlerdir.

Lee vd. (1999) su sütununun optik özelliklerini, derinliğini ve deniz taban yansımalarını üretmek için analitik radyatif transfer denklemini yarı analitik olarak modifiye etmiştir. Bu yöntem, Levenberg-Marquardt optimizasyon algoritmasını kullanarak ışığın geri saçılma özelliklerini, hiperspektral veri setindeki spektral imzalarla eşleşecek şekilde su parametrelerini optimize etmektedir. Ayrıca bu yöntem ve türevleri kalibrasyon için alan verileri gerektirmemektedir. Yarı analitik yöntem, su sütunu özelliklerini ve batimetriyi içeren çeşitli deniz çalışmalarında geniş popülerlik kazanmıştır. Başlangıçta hiperspektral veriler için geliştirilmiştir, ancak multispektral verileriyle yapılan çalışmalarda önemli sonuçlar elde edilmiştir (Dekker vd. 2011). Lee ve Carder (2001) yarı analitik modellerin batimetriyi  $R^2=0,96$  hesaplanabileceğini ancak tutarsızlıkların su bulanıklığıyla arttığını öne sürmüştür. Lee vd. (1999) Avustralya Moreton Bay bölgesinde hiperspektral CASI-2 verileriyle yapmış oldukları analizde RMSE = 0,67 m bularak yöntemin uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. Yukarıda belirtilen çeşitli optik görüntülerle batimetri çalışmaları, yarı analitik algoritmalar kullanılarak 15 ila 20 m'ye kadar derinliklerin tespit edilebileceğini önermektedir. Çok az çalışma, herhangi bir alan verisi olmadan optik görüntülerle batimetri çalışmalarını detaylandırmıştır. Literatürde yarı analitik çalışmalarda kullanılan uydu verileri ve derinlik aralığı aşağıdaki Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 2. 3.** Ashphaq vd. (2021) çalışmasından, yarı analitik çalışmalarda kullanılan uydu verileri ve derinlik aralıkları (Brando vd. 2009; Dekker vd. 2011; Hedley vd. 2018; Jay ve Guillaume 2014, 2016; Kakuta vd. 2018; Kerr ve Purkis 2018; Lee vd. 1999; Liew vd. 2012; McKinna vd. 2015; Wong vd. 2018)

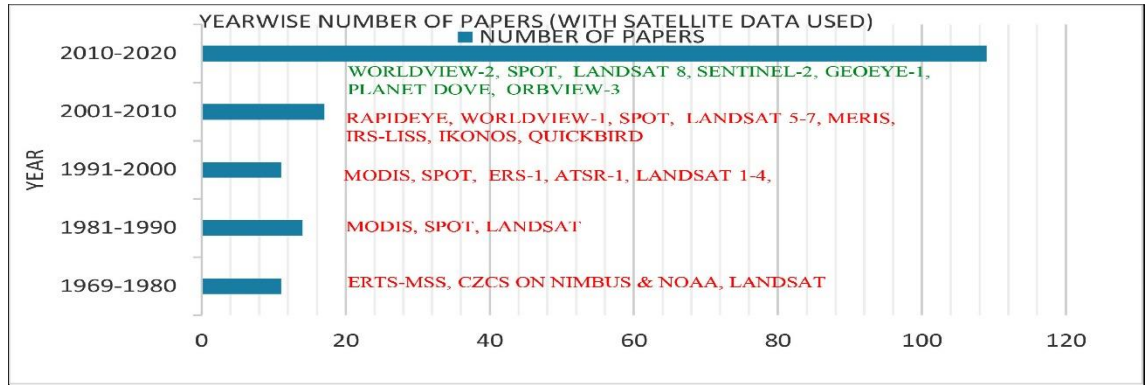
### 2.2.1.3 Makine öğrenimi

Makine öğrenimi, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinde araştırmacılar tarafından günümüzde sıklıkla kullanılan bir araç haline gelmektedir. Batimetri çalışmalarında makine öğrenimiyle, dip türlerinin yani çevresel koşulların sebep olduğu optik uzaktan algılamadaki sorunları ortadan kaldırmadan, derinlik tahminleri sağlayabilmektedir. Ceyhun ve Yalçın (2010) İzmir Foça bölgesinde Aster ve Quickbird uydu verileriyle, yapay sinir ağları algoritmasını kullanmışlar ve %80 'nin üzerinde belirleme katsayısı ile batimetri analizlerinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Eugenio vd. (2015) Kanarya Adaları kıyı bölgelerinde World-Wiew-2 verileriyle 0-30 m derinlik için destek vektör makinası yöntemini kullanmışlar ve  $R^2 = 0,94$  RMSE değerini 1,20 ile 1,94 m arasında bularak başarılı bir sonuç elde ettiklerini bildirmişlerdir. Sagawa vd. (2019) Japonya, ABD, Porto Riko ve Vanuatu bölgelerinde çok zamanlı Landsat verilerini kullanmışlar, 0-20 m derinlikler için rastgele orman yöntemiyle batimetri analizi gerçekleştirmişlerdir. RMSE değerinin tüm çalışma bölgelerinde ortalama 1,41 m olarak tespit etmişlerdir. Ashphaq vd. (2021) makine öğreniminde en yaygın kullanılan yöntemlerin destek vektör makinası ve random forest (Rastgele orman) algoritmalarının olduğunu ve bu algoritmalar ile 10 m derinliklere kadar doğru batimetri tahminleri yapabileceğini belirtmişlerdir.

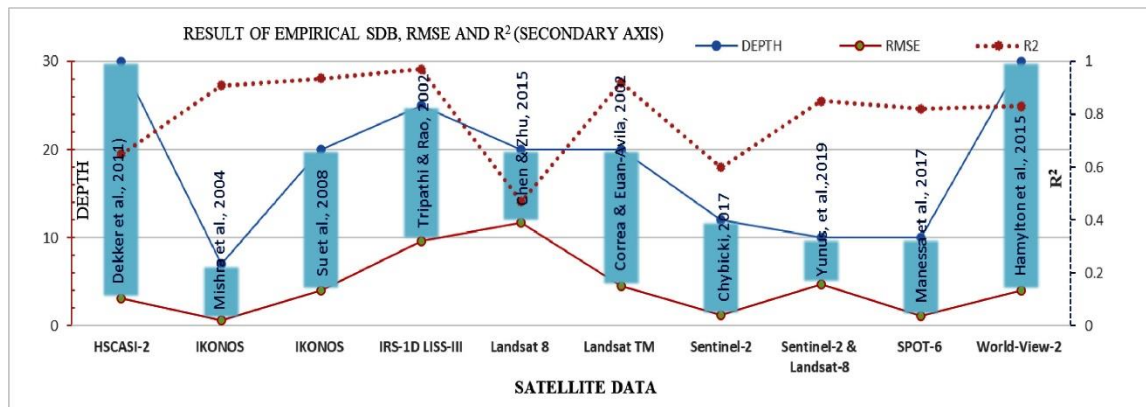


### 2.3. Batimetri Çalışmalarının Değerlendirmesi

Geçmişten günümüze yapılan batimetri çalışmalarında teknolojinin gelişmesiyle kullanılan veriler ve yöntemler değişmektedir. Aktif algılayıcılar kullanılarak yapılan batimetrik analizler yüksek doğruluğa ve yüksek çözünürlüğe sahip olması en önemli avantajlarıdır. Ancak bu avantajlar yüksek maliyet, fazla zaman ve fazla çalışan sayısı içermektedir. Bundan dolayı aynı bölgede tekrar bir çalışma yapmak, örneğin aylık batimetri değişimini görmek için fazla maliyet ödenmesi gerekmektedir. Bu tür dezavantajların üstesinden gelmek için optik uydu verileri kullanarak yukarıda bahsedilen yöntemler geliştirilmiştir ve halen geliştirilmektedir. Optik uydu verilerini kullanarak yapılan çalışmalar, bahsedilen dezavantajları elemine etmede başarılı sonuçlar elde etmekte ve ayrıca diğer aktif yöntemlere göre daha geniş alanların analizine imkân vermektedir. Optik uydu görüntüleriyle batimetri çalışmalarının yıl bazında değişimi Şekil 2.4 ve bazı uydu verileriyle yapılan ampirik yöntemlerin RMSE ve  $R^2$  ile değerlendirilmesi aşağıdaki Şekil 2.5 'de gösterilmiştir (Ashphaq vd. 2021).

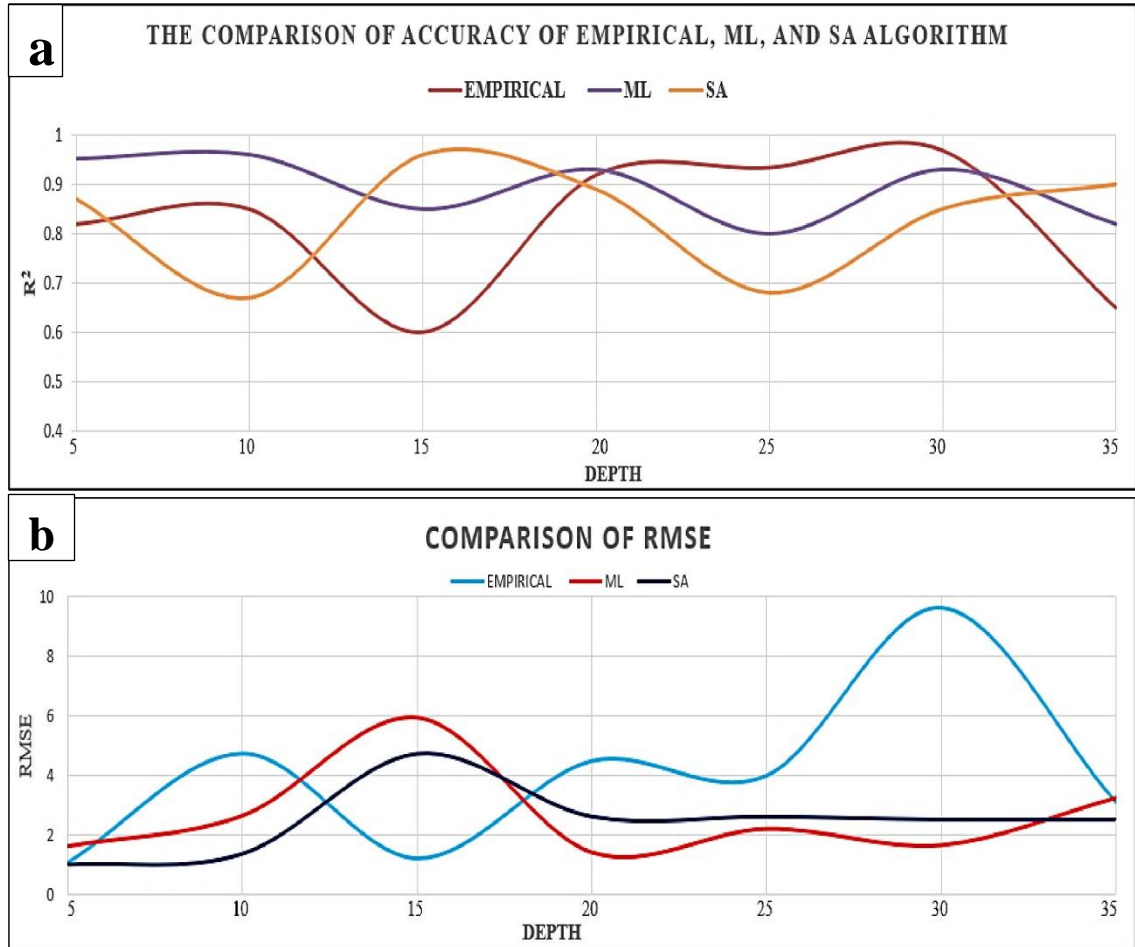


Şekil 2. 4. Uydu verileriyle batimetri çalışmalarının yıl bazında değişimi (Ashphaq vd. 2021)



Şekil 2. 5. Ashphaq vd. (2021) çalışmasından, optik uydu verileriyle yapılan bazı ampirik çalışmaların derinlik, RMSE ve  $R^2$  ile değişimi (Chen ve Zhu 2015; Chybicki 2018; Dekker vd. 2011; Hamylton vd. 2015; Liceaga-Correa ve Euan-Avila 2002; Mishra vd. 2004; Su vd. 2008; Tripathi ve Rao 2002; Yunus vd. 2019)

Yukarıdaki Şekil 2.5’te görüldüğü gibi günümüze yaklaştıkça uydu verileriyle batimetri çalışmaları artmaktadır. Bu artışın en önemli sebepleri; uydu teknolojisinin gelişmesi, sensörlerin daha duyarlı olması, Dünya’nın yörüngesine daha fazla yer gözlem uyduları yerleştirilmesi ve bazı uydu verilerinin ücretsiz olması önemli sebeplerdir. Literatürde yapılan çoğu batimetri çalışmalarının doğruluğu RMSE ve  $R^2$  değerlerine bakılarak değerlendirilmiştir. Ampirik yöntemler (Empirical), analitik yöntemler (SA) ve makine öğrenimi (ML) ile yapılan bazı çalışmalar  $R^2$  ve RMSE ile değerlendirilmesi Şekil 2.6 ‘da gösterilmiştir (Ashphaq vd., 2021).



**Şekil 2. 6.** Ashphaq vd. (2021) çalışmasından, a) makine öğrenimi (ML), ampirik (Empirical) ve analitik yöntemlerin (SA)  $R^2$  ile değişimi, b) makine öğrenimi, ampirik ve analitik yöntemlerin RMSE ile değişimi

Yöntemler doğruluk açısından bakıldığında, makine öğrenimi ve analitik yöntemler daha doğru sonuçlar vermiştir. 15 m derinliğe kadar olan bölümlerde bu iki yöntemin hataları hemen hemen aynıdır. Ampirik yöntemler 25 m’den daha derin yerlerde kötü performans göstermiştir. Genel olarak bakıldığında hem pasif hem de aktif sistemlerle oluşturulan yöntemlerin uygulama alanları, su türüne, suyun bulanıklığına, yöntemin doğruluğuna ve elde edilmesi amaçlanan batimetri çözünürlüğüne göre

değişmektedir. Bu yüzden hangi veri kaynaklarının kullanılacağı ve buna bağlı olarak hangi yöntemin uygulanacağı zaman ve maliyet açısından ele alınarak belirlenebilir. Mevcut batimetri teknikleri ve her tekniğin doğruluğunu, gücünü ve sınırlamalarını aşağıdaki Çizelge 2. 1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2. 1.** Batimetri teknikleri (Ashphaq vd. 2021; Jawak vd. 2015)

Sensör	Tür	Etkileyen faktörler	Avantajlar	Dezavantajlar	Uygulama kapsamı	Doğruluk
Mikro dalga veya SAR	Aktif	Görüntü çözünürlüğü	Geniş alanlara uygulanabilir, bulut örtüsünden etkilenmez	Karmaşık ve nispeten düşük doğruluk	Açık okyanus sularından batimetri, sığdan derine	Nispeten düşük doğruluk
Radar Altimetri	Aktif	Litosferin elastik kalınlığı, sedimanlar	Küresel kapsama, yalnızca iyonosfer ölçümü olmayan basit altimetrelere ihtiyaç duyar	Sınırlı dalga boyu bandı üzerinde mümkün	Okyanuslar için kaba batimetri, sahilinden 40 km ötede analizler	Çok düşük doğruluk
LIDAR	Aktif	Suyun berraklığı veya bulanıklığı, deniz tabanı türü, yüzey durumu	Geniş derinlik aralığı, eş zamanlı ölçüm gerekli değildir	Pahalı, sınırlı şerit genişliği	Dar aralıktaki çeşitli su ortamları, kıyıdan 70 metre derinliğe kadar	Ortalama 15 cm hata
Optik (Analitik)	Pasif	Su kalitesi (berraklık veya bulanıklık), bulut örtüsü, atmosferik koşullar	Fiziksel sürece bağlı, nispeten daha yüksek doğruluk	Giriş parametreleri gerektirdiğinden karmaşıktır, gerçek zamanlı yerinde veriler gereklidir	Bulanık ve sığ iç sular, haliçler, nehir kanalları, en fazla 30 m derinliklere kadar	Nispeten yüksek

Çizelge 2.1 'in devamı

Optik (Ampirik)	Pasif	Atmosferik kalibrasyon, su bulanıklığı, taban yansımaları	Uygulaması basit, yerinde kesin derinliklerle doğru sonuçlar	Sınırlı derinlik, derinlik arttıkça düşük doğruluk, gerçek zamanlı yerinde veriler önemlidir	Kıyıya yakın ve kıyı suları, en fazla 30 m derinliklere kadar	Değişen doğruluk
Video	Pasif	Görüntü çözünürlüğü	Küçük batimetrik değişim üretme kabiliyeti	Kısıtlayıcı alan, profiller boyunca batimetri	Gelgit bölgesi ve haliçler	Nispeten yüksek

#### 2.4. Kıyı Çizgisi Tespiti

Kıyı çizgesinde meydana gelen değişiklikler, son yıllarda Dünya çapında kıyı bölgelerini etkileyen en önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Günümüzde kıyı bölgelerinin çoğu yıl içerisinde 1 cm ile 10 m arasında değişen erozyonlara maruz kalmaktadır (Pilkey ve Hume 2001). Kıyı çizgisinde meydana gelen değişiklikler doğrudan doğal süreçler (akıntı, dalga, kıyı bölgelerinin doğası vb.) ve antropojenik müdahalelerle (kum madenciliği, vahşi kentleşme, turizm, kıyı alt yapısı inşası vb.) ilişkilidir (Manca vd. 2013; Natesan vd. 2015; Scott 2005). Kıyı çizgisinde meydana gelen değişim eğilimlerinin anlaşılması, kıyı alanlarının çevresel kontrolü ve yönetimi için gerekli bir bilgi kaynağıdır (Ozturk ve Sesli 2015). Kıyı bölgelerinde meydana gelen bu değişimlerin tespiti için çeşitli uzaktan algılama yöntemleri geliştirilmiştir.

Kıyı çizgisi tespit çalışmalarında çeşitli veri kaynakları kullanılmaktadır. Hava fotoğraflarıyla yapılan kıyı çizgisi çalışmaları, yüksek çözünürlüklü görüntü sağlasa da yalnızca çekim anındaki görüntüyü yakalamaktadır. Buda kara su sınırının gün içinde metrelerce değiştiği alanlarda kıyı çizgisi analizi için problem oluşturmaktadır (Romine vd. 2009). Hava fotoğraflarına ek olarak, LIDAR ve SAR görüntüleri kullanılarak çeşitli kıyı çizgisi tespit çalışmaları da yapılmıştır (Trebossen vd. 2005; Yang vd. 2012). Demir vd. (2019) Türkiye’de İstanbul Terkos ve Antalya Kemer kıyıları olmak üzere iki farklı bölgede kıyı çizgisi analizi gerçekleştirmişleridir. Çalışmalarında Sentinel-1 ve RASAT uydu verilerini kullanmışlardır. Whale optimizasyon algoritmasını kullanarak, Terkos ve Kemer bölgeleri için tespit edilen kıyı çizgileri, referans kıyı çizgisinden sırasıyla ortalama 29.17 m, 16.78 m mesafede tespit etmişlerdir. Ancak yukarıda bahsedilen yöntemler yüksek çözünürlük sunarken, veri edinme maliyeti ve süresi aşırı derecede yüksektir (Kelly ve Gontz, 2018). Önceki araştırma yöntemlerinin sınırlamalarını ortadan

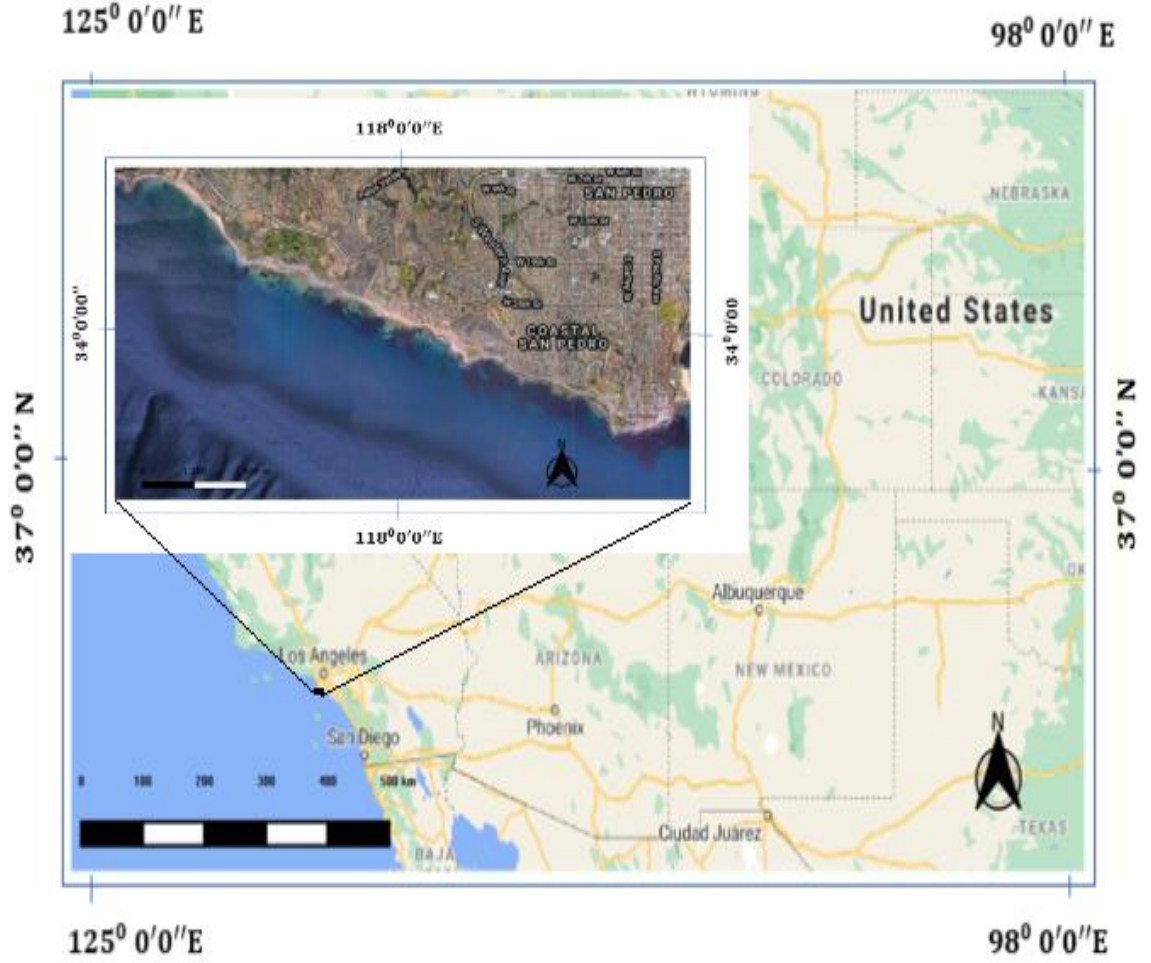
kaldırmak için uydu uzaktan algılama yöntemleri, çeşitli kıyı çalışmalarında yaygın olarak kullanılmıştır (García-Rubio vd. 2015; Kuleli vd. 2011; Pardo-Pascual vd. 2012). Bu yöntemler, çeşitli uzamsal ve zamansal ölçeklerde kıyı çizgisini tespit etmek için pratik bir yaklaşım sağlamıştır (Almonacid-Caballer vd. 2016; Li ve Gong 2016).

Uydu görüntüleriyle kıyı çizgisi çalışmalarında yakın ve orta kızıl ötesi bantlar kullanılmaktadır. Bu bantlar su ve kara arasındaki arayüzü tespit etmek için en uygun bantlardır. Uydu görüntülerinden su piksellerini otomatik olarak çıkarmak için çeşitli spektral indeksler geliştirilmiştir. Bu indeksler; otomatik su çıkarma indeksi (Automated Water Extraction Index (AWEI)), değiştirilmiş normalleştirilmiş fark su indeksi (Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)), normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) ve normalleştirilmiş fark su indeksi (Normalized Difference Water Index (NDWI)) başlıca indekslerdir. Bu indeksler arasında ilk ve en çok kullanılan, kuru kum ve su yüzeyi arasındaki fark için yeşil bant yakın kızıl ötesi bantla birleştiren normalize su fark indeksidir (NDWI) (McFeeters 1996). Xu (2018) yeşil bant ve SWIR 1 bantlarını kullanarak değiştirilmiş normalleştirilmiş fark su indeksini önermiştir. Daha sonra görünür, yakın ve orta bantları birleştiren otomatik su çıkarma indeksi (AWEI) gibi yeni indeksler ortaya çıkmıştır (Sánchez-García vd. 2020). Bu otomatik su sınıflandırmaları, kullanılan indekse ve farklı çalışma yerlerine göre değişen eşik değerleriyle her zaman sorunlarla karşılaşmıştır (Ji vd. 2009). Bu indeksler öte yandan genellikle düşük albedoya sahip bölgelerde hatalı sonuçlar vermiştir. Bu yüzden hangi indeksin en iyi performansla sahip olduğu ile ilgili bir ortak görüş yoktur (Feyisa vd. 2014). Rokni vd. (2014) birden fazla indeks değerlendirerek en iyi yöntemin NDWI'nin ana bileşenlerine dayanan yeni bir yaklaşımdan geldiğini bildirmiştir. Fisher vd. (2016) yüksek çözünürlüklü görüntüler kullanarak indeksleri karşılaştırmış ve AWEI, MNDWI en doğru sınıflandırma indeksleri olduğu sonucuna varmıştır. You ve Li (2011) OTSU eşikleme ve istatistiksel yöntemleri beraber kullanarak kara deniz ayrımını başarılı bir şekilde kullanan bir yöntem geliştirmiştir. Yöntem OTSU algoritmasını kullanarak, denizler kabaca belirlenir, daha sonra denizden bir kesit alınarak, denizin istatistiksel modeli oluşturulmaktadır. Oluşturulan modele dayanarak görüntü, kara ve su olarak ikili görüntüye dönüştürülmektedir.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, ABD, Kaliforniya eyaletindeki Los Angeles şehrinin kıyı bölgesi seçilmiştir. Sahil uzunluğu yaklaşık olarak 8 km'dir. Kıyıya yakın bazı bölgelerde kayalık alanlar mevcuttur. Bölgeden elde edilen referans batimetri değerlerine göre derinlik kıyıdan uzaklaştıkça kademeli olarak artmaktadır ve ani derinlik artışları yoktur.



Şekil 3. 1. Çalışma alanı

#### 3.2. Materyal

Bu tez çalışmasında çalışma alanına ait Sentinel-2 uydu verileri ve bölgeye ait referans batimetri verileri kullanılmıştır. Sentinel-2 uyduları, Avrupa Uzay Ajansı Copernicus programının bir parçasıdır. İki ikiz uydu (A / B), 10, 20 ve 30m uzamsal çözünürlüğe sahip multispektral görüntüler (MSI) içermektedir. Sentinel-2 uyduları bitki örtüsü, toprak ve su örtüsü alanları gibi saha analizlerini gerçekleştirmeyi amaçlayan kutup yörüngeli, çok bantlı, yüksek çözünürlüklü ve 5 günlük uzaysal çözünürlüklü ikiz uydu sistemidir. Sentinel-2'nin spektral bant özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

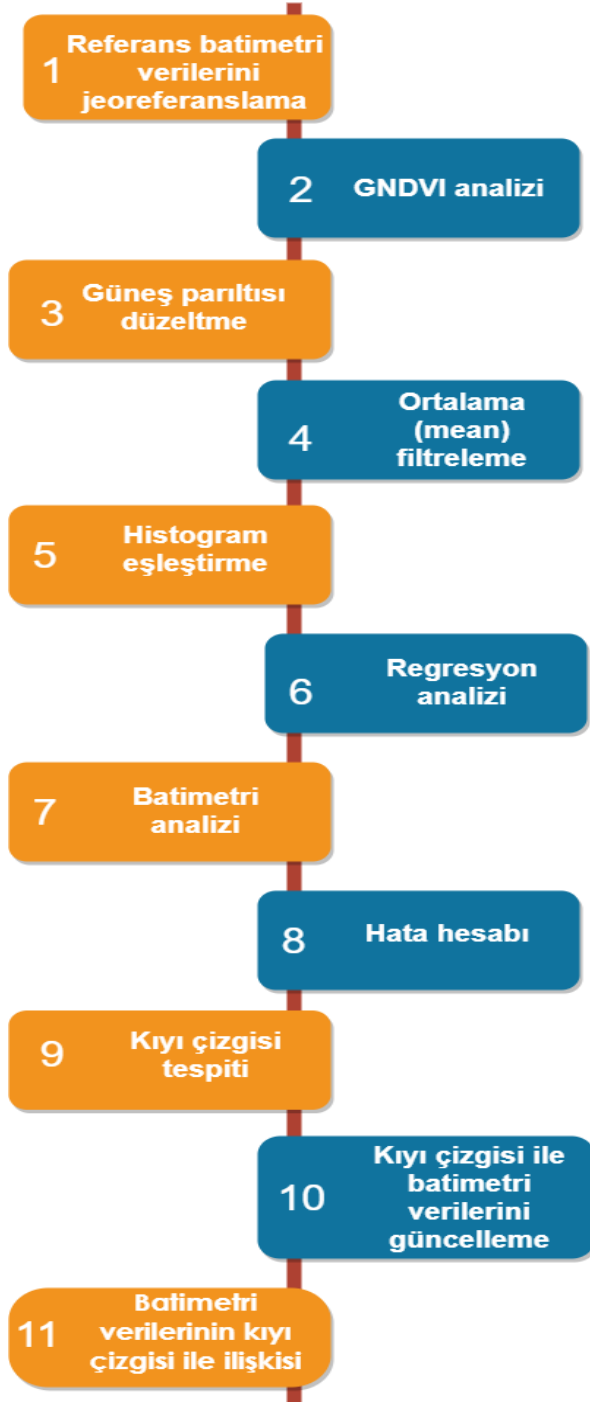
Sentinel-2 Seviye-1C ürünlerinde atmosferik etkiler mevcuttur. Mart 2018'den bu yana Level-1C ürünlerinden türetilen Level-2A ürünlerinin atmosferik etkileri düzeltilmiş bir şekilde kamuoyuna sunulmuştur. Sentinel-2A, 23 Haziran 2015'te ve Sentinel 2B, 7 Mart 2017'de faaliyete geçmiştir (ESA 2015). Çalışmada Level-2A görüntüleri kullanılmış ve böylece atmosferik düzeltme işlemi yapılmamıştır. Bölgeye ait referans batimetri haritası Tcarta Global Bathymetry GIS Data veri tabanından talep edilmiştir. Referans batimetri haritası 2017/09/27 tarihinde sonar vb. cihazlarla 10 m çözünürlüğünde elde edilmiş TIF formatında bir görüntüdür. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri referans batimetri alma tarihine en yakın olacak şekilde, hava koşullarına bağlı olarak ve ardışık aylık görüntüler oluşturacak şekilde seçilmiştir. En yakın seri 2018 aralık, 2019'un ocak, şubat ve mart aylarından oluşturulmuştur. Çalışma alanına ait dört farklı tarihte (2018/12/20, 2019/01/17, 2019/02/18 ve 2019/03/25) uydu görüntüleri kullanılmıştır.

**Çizelge 3. 1.** Sentinel-2 spektral bant özellikleri

Bantlar	Bant adı	Merkezi dalga boyu	Mekansal çözünürlük
1	<i>Aerossol</i>	443	60
2	Blue	490	10
3	Green	560	10
4	Red	665	10
5	Red Edge 1	705	20
6	Red Edge 2	740	20
7	Red Edge 3	783	20
8	NIR	842	10
9	Cirrus	945	60
10	SWIR 1	1380	60
11	SWIR2	1610	20
12	Red Edge 4	2190	20

### 3.3. Metot

Genel olarak çalışmada kullanılan işlem basamakları aşağıdaki iş akış semasında gösterilmiştir.



Şekil 3. 2. İş akış şeması



### 3.3.1. Ön analiz

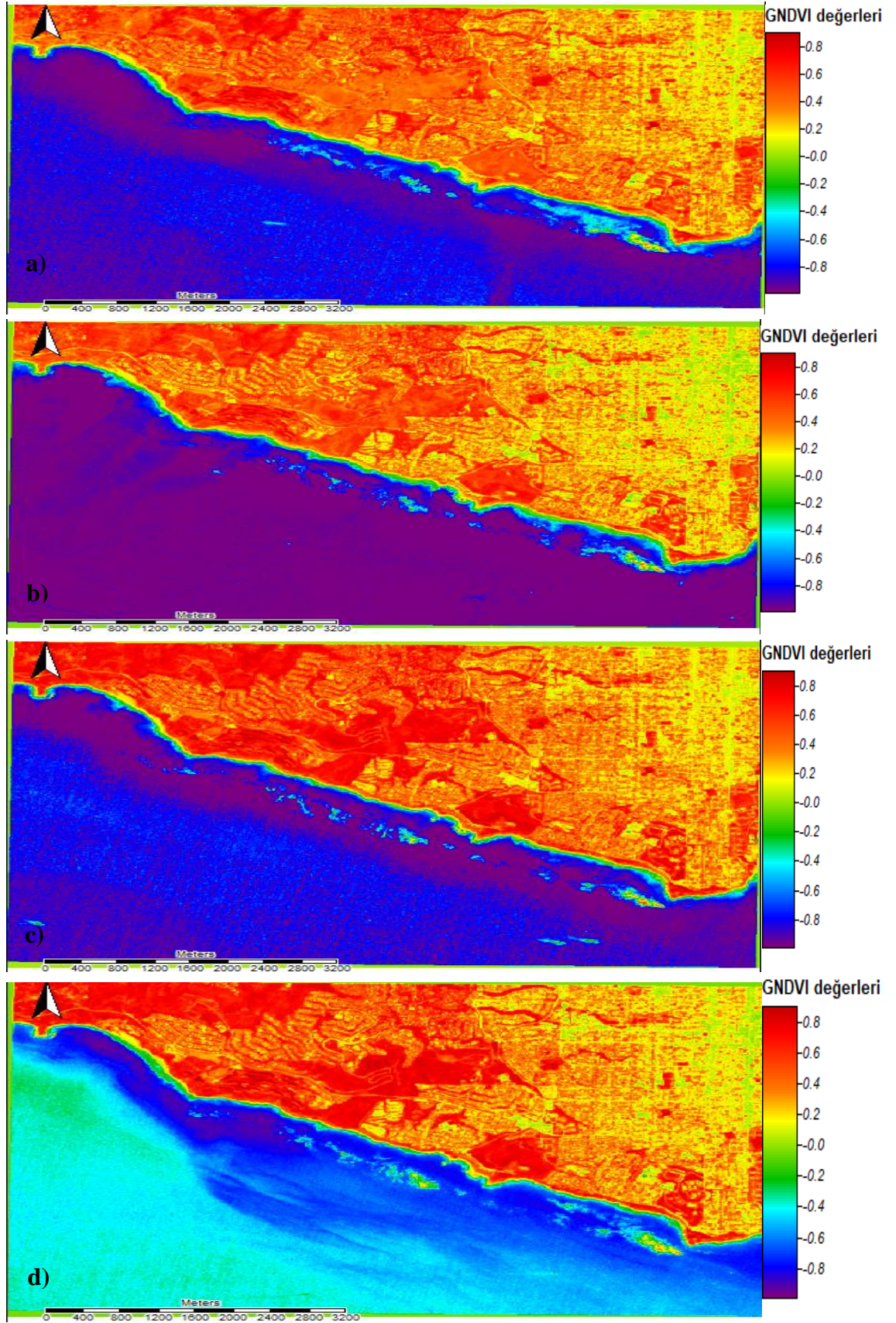
Ön analiz üç aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak çalışma alanında batık bitki örtüsü tespit etmek amacıyla, yeşil bant normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (GNDVI) analizi uygulanmıştır. İkinci olarak, güneş parıltısından kaynaklı gürültüleri gidermek amacıyla, güneş parıltısı düzeltme analizi yapılmıştır. Ve en son olarak da uydu verileri arasında histogram eşleştirme yapılmıştır.

#### 3.3.1.1. GNDVI analizi

Uydu görüntülerini kullanarak yapılan batimetri analizlerinde, suyun bulanıklığı veya suda bulunan çeşitli yosun vb. bitkiler batimetri doğruluğunu etkileyen önemli faktörlerdir. Bu nedenle ilk olarak çalışma alanının su kalitesini değerlendirmek amacıyla yeşil bant normalleştirilmiş fark bitki örtüsü indeksi (Green normalized difference vegetation index (GNDVI)) kullanılmıştır. Bu indeks ile suda veya karda fotosentez yapan bitkiler tespit edilebilir. Eşitlik 3.1, GNDVI formülünü göstermektedir. GNDVI normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) ile benzer bir yöntemdir. GNDVI değerleri -1 ile 1 arasında değerler almaktadır. 0.1'in üzerindeki değerler bitki örtüsünün varlığını ve sıfırın altındaki değerler suyu göstermektedir (Ma vd. 2007). Ayrıca GNDVI, klorofile NDVI'dan beş kat daha duyarlıdır (Gitelson vd. 1996). Elektromanyetik spektrumun yeşil bant aralığını ve kızıl ötesi bant aralığını kullanılarak GNDVI hesaplanmaktadır.

$$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)} \quad (3.1)$$

Dört farklı tarihte alınan uydu görüntülerinin her birine GNDVI işlemi uygulanmıştır ve renklendirilmiştir (Şekil 3.3).



**Şekil 3. 3.** Hesaplanan GNDVI değerleriyle oluşturulan renkli görüntüler; **a)** 2018 şubat; **b)** 2019 ocak; **c)** 2019 şubat; **d)** 2019 mart

Yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere su alanları eksili GNDVI değerlerine sahiptir. Kara ve bitki alanları kırmızı, sarı ve açık yeşil renk tonlarında, su alanları ise koyu yeşil ve mavi renk tonlarında görülmektedir. Kıyıya yakın su alanlarının içerisinde dört farklı ayda klorofil varlığını gösteren, koyu yeşil ve kırmızının renk tonlarında kümelenmiş su yosunları vb. bitkilerin mevcudiyeti değerlendirilmektedir. Optik uydu görüntülerinden batimetri analizlerinde klorofilin varlığı bozucu bir etkiye sahiptir. Çünkü uydu sensörünün o bölgeden kaydetmiş olduğu enerji miktarı, klorofil olmayan bölgelere göre farklı olmasına yani spektral sapmalara neden olacaktır. Bu spektral sapmalar kullanılan analiz yönteminden elde edilen batimetri değerlerini doğrudan etkilemektedir. Bu tez çalışmasında, kıyıda 10 m'ye kadar olan bölgelerde yoğun su yosunu vb. bitkilerin varlığından dolayı, derinliği 10 m ile 25 m arasında değişen bölgede batimetri analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölge kıyıda ortalama 300 m uzaklıkta ve yaklaşık 5 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahiptir.

### 3.3.1.2. Güneş parıltısı düzeltme

Güneş parıltısı özellikle dalgalı sularda batimetri analizlerinin doğruluğunu etkileyen bir faktördür. Güneş parlaması, ışınların su yüzeyiyle uygun bir açıyla kesişmemesinin neden olduğu yansımadır. Bu yansıma sensör tarafından kaydedilir ve bozucu etkiye sahiptir (Kay vd. 2009). Bu çalışmada Hedley vd. (2005) tarafından geliştirilen teknik kullanılarak, kullanılan görüntülerin her birine güneş parıltısı düzeltme işlemi uygulanmıştır. Bu teknik derin suda, >700 nm dalga boyuna sahip ışığın neredeyse tamamının su tarafından emildiği varsayımına dayanmaktadır. NIR parlaklığı ile görünür bantlardaki güneş parıltısı miktarı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Çünkü kırılma indeksi NIR ve görünür dalga boylarında neredeyse birbirine eşittir (Mobley 1994). Bu nedenle NIR bandında yansıyan ışık miktarı, görünür dalga boylarında yansıtılacak ışık miktarının bir göstergesidir. Dolayısıyla bu doğrusal ilişki her pikseldeki güneş parıltısını gidermek için görünür banttaki parlaklığın ne kadar azaltılacağını belirlemede kullanılmıştır. Derin bir bölgeden kesit alınarak, o bölgeye karşılık gelen NIR ve görünür bant yansımaları arasında regresyon analizleri yapılmıştır. Daha sonra aşağıdaki eşitlik kullanılarak görünür bantlarda güneş parıltısının giderilmesi (Hedley vd. 2005).

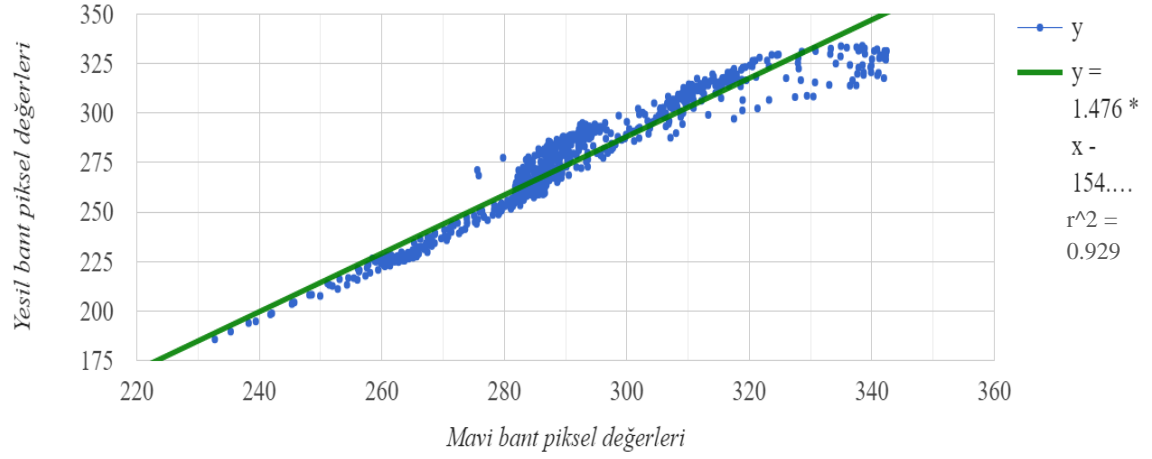
$$R'_i = R_i - b_i(R_{NIR} - Min_{NIR}) \quad (3.2)$$

Yukarıdaki denklemde  $b_i$  regresyon doğrusunun eğimini,  $R'_i$  güneş parlaması düzeltilmiş  $i$  bandın piksel parlaklığını,  $R_i$   $i$  bandının orijinal parlaklığını,  $R_{NIR}$  NIR bandının parlaklığını ve  $Min_{NIR}$  ise regresyon grafiğinden elde edilen minimum NIR parlaklığıdır. Yukarıda bahsedilen bu işlemler çalışmada kullanılan mavi ve yeşil bantlara uygulanarak güneş parıltısı düzeltme işlemi uygulanmıştır.

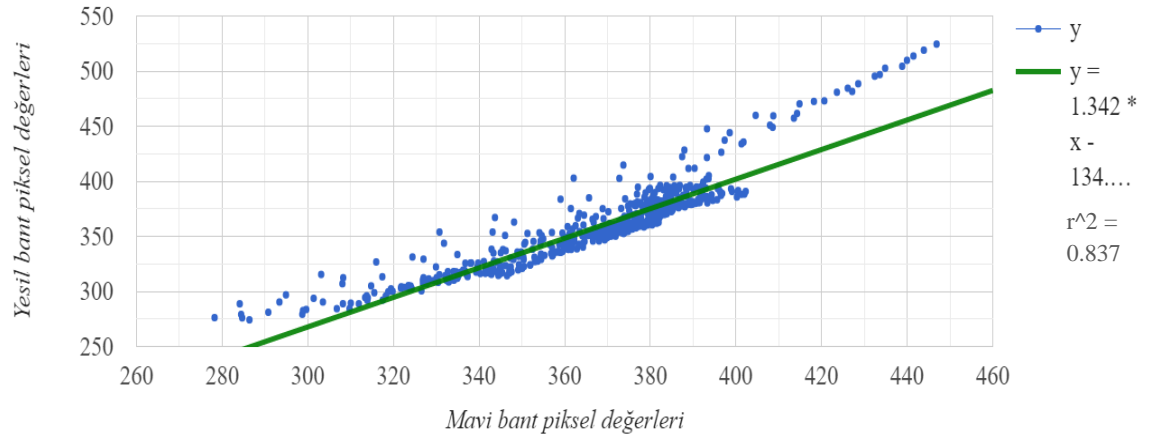
### 3.3.1.3. Histogram eşleştirme

Çalışmada görüntü alım tarihlerinde, deniz durumunda bir farklılaşma olup olmadığını görmek amacıyla kullanılan görüntüler arasında korelasyon hesabı

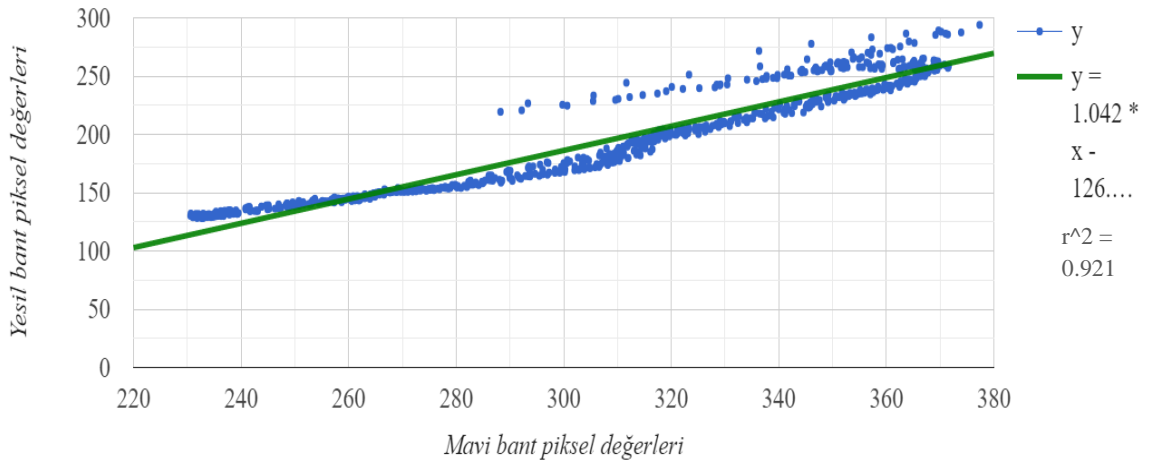
yapılmıştır. Çalışmada kullanılan mavi ve yeşil spektral bantlar her farklı görüntü alım tarihi için regresyon grafikleri çizdirilmiştir. Bunun için çalışma bölgesinde suya ait bir bölge seçilerek grafikler oluşturulmuştur.



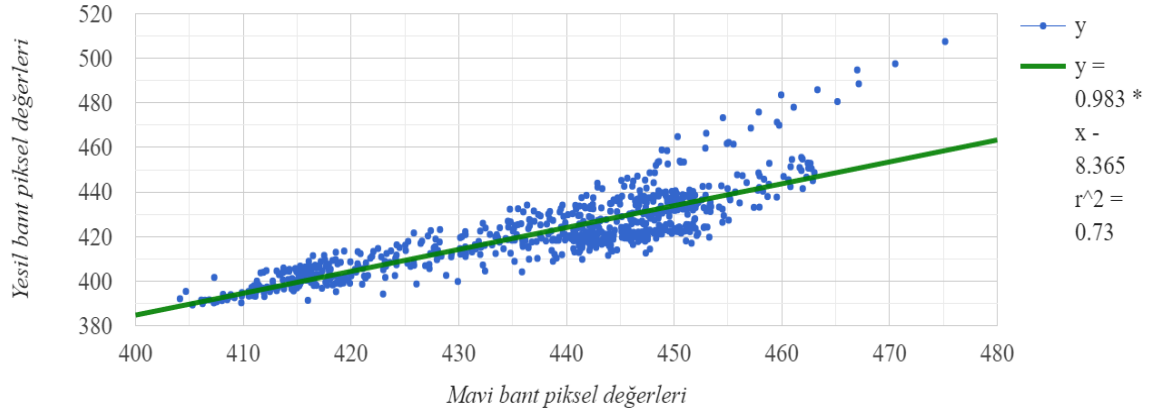
**Şekil 3. 4.** 2018 Aralık mavi ve yeşil spektral bantların regresyon grafiği



**Şekil 3. 5.** 2019 Ocak mavi ve yeşil spektral bantların regresyon grafiği



**Şekil 3. 6.** 2019 Şubat mavi ve yeşil spektral bantların regresyon grafiği



**Şekil 3. 7.** 2019 Mart mavi ve yeşil spektral bantların regresyon grafiği

**Çizelge 3. 2.** Görüntü alım tarihlerine ait mavi ve yeşil bantların aralarındaki korelasyon değerleri

	2018 Aralık	2019 Ocak	2019 Şubat	2019 Mart
<b>Korelasyon</b>	0.963	0.914	0.959	0.854

Yukarıdaki çizelgede görüldüğü üzere mavi ve yeşil spektral bantlar arasında farklı korelasyon değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler dört farklı tarih için çalışma bölgesinde suyun farklılaştığını göstermektedir. Bu farklılaşma aralarındaki zamansal farktan dolayı kaynaklanabileceği gibi, farklı atmosfer ve uydu görüş açıları bu farklılaştırmayı arttırmaktadır. Çalışmada zamansal olarak batimetri değerlerinin değişimi gözlemlendiği için görüntüler arasında histogram eşleştirme yapılmıştır. Histogram eşleştirme farklı sensörlerin iki görüntüsünü normalleştirmek için iki histogram arasında tekdüze bir görüntü oluşturmak için yaygın kullanılan bir tekniktir (Yang ve Pan 2017). Bu teknik, piksel yoğunluk dağılımlarını kümülatif dağılım fonksiyonları ile kullanarak görüntülerin kontrastını geliştirir, böylece çıktı görüntüsü histogramı referans histogramı ile yaklaşık olarak eşleşmektedir (Correal vd. 2014). Çalışmada referans olarak şubat ayına ait mavi, yeşil ve NIR bantları kullanılmıştır. Şubat ayı korelasyon bakımından, hem de uydu görüntü alma tarihleri arasında orta bir tarihe en yakın olduğu için seçilmiştir. Şubat ayının mavi bandı referans alınarak diğer tarihlerde alınan mavi dalga boyundaki görüntüler arasında histogram eşleştirme yapılmıştır. Bu işlemler yeşil ve NIR dalga boyunda alınan görüntüler içinde uygulanmıştır. Ve elde edilen yeni veriler batimetri analizi için kullanılmıştır.

### 3.3.2. Batimetri hesabı

Çalışmada bant oran yöntemi kullanılmıştır ve yöntem doğrudan güneş radyasyonuna bağlıdır. Güneş radyasyonu su yüzeyine ulaştığında soğurma, saçılma ve yansımaya meydana gelmektedir. Su kütlesine giren ışığın enerjisi tabandan yansyarak

sensöre ulaşmaktadır. Uydu görüntüsünün her pikseli için, sensör tarafından algılanan enerji miktarı ile o piksel konumundaki suyun derinliği arasında istatistiksel bir ilişki vardır (Kumari ve Ramesh 2020). Derinlik tahmini, bu ilişki ve farklı dalga boylarındaki bantlar kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada Sentinel-2 uydusunun mavi ve yeşil dalga boyu aralığına sahip sırasıyla ikinci ve üçüncü bantlar kullanılmıştır. Her bandın su sütunu ile etkileşimi farklı yansıma özelliklerine sahiptir, bu da derinlik tahmininde doğruluğu iyileştirmede önemli bir faktördür. İki bandın alt yansıması, alt tabakanın türüne göre değişmez. Bu, su türünün etkisini ortadan kaldırılabılır ve iki bandın oranı su derinliğini hesaplamak için Eşitlik 3.2 kullanılmıştır (Bramante vd., 2013; Chen vd., 2019).

$$z = m_0 * \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_1 \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'te  $z$  derinlik,  $\lambda_i$  ve  $\lambda_j$  sırasıyla mavi ve yeşil bantların spektral yansımaları,  $m_0$  ve  $m_1$  eşitliğin katsayıları ve  $n$  denklemin her koşulda pozitif çıkması için kullanılan bir sabit (çalışmada  $n=1000$  alınmıştır) sayıdır. Bu yöntem, her bir bandın su kütlesinde farklı soğrulmalarına dayanmaktadır. Bu farklı soğurmalar bantlar arasında bir oran oluşturur ve derinlik arttıkça teorik olarak bu oranda artmaktadır.

Batimetri hesabı için ilk olarak bölgenin bilinen derinlik verileri QGIS programıyla jeoreferanslama işlemi yapılmıştır. Daha sonra bu veriler Google Earth Engine (GEE) platformuna aktarılmıştır. Bu platform akademik, kâr amacı gütmeyen, ticari ve hükümet kullanıcıları için Dünya'ya ait jeo-uzamsal verilerin bilimsel analizi ve görselleştirmeye imkân sunmaktadır. Platform tamamen ücretsizdir. GEE platformunda analizler javascript ve python programlama dilleriyle yapılmaktadır. İçerisinde birçok uydu görüntüsü bulunan bu platformda çalışma alanının Sentinel-2 uydu görüntüleri import edilmiştir. Daha sonra bilinen derinlik değerleri  $z$  yerine ve derinliğe karşılık gelen uydunun mavi ve yeşil dalga boylarında kaydettiği enerji değerleri Eşitlik 3.3'te yazılarak, eşitliğin bilinmeyen  $m_0$  ve  $m_1$  katsayıları, regresyon analiziyle elde edilmiştir. Bu katsayılar derinliği bilinmeyen bölgelerde, derinliği hesaplamak için kullanılan kalibrasyon katsayıları olarak düşünebiliriz. Hesaplanan  $m_0$  ve  $m_1$  katsayıları Eşitlik 3.3'te yerine yazılarak derinliği bilinmeyen konumların batimetrik değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada 2018 Aralık, 2019'un Ocak, Şubat ve Mart aylarında batimetrik haritaları türetilmiştir. Türetilen haritaların doğruluğunu test etmek için her bir ayda türetilen batimetri haritaları, bölgenin gerçek derinlik değerleriyle istatistiksel analizler yapılarak hata miktarları hesaplanmıştır. Hatalar mutlak hata, bağıl hata ve RMSE ile değerlendirilmiştir.

$$D_a = \frac{|z_1 - z_2|}{n} \quad (3.4)$$

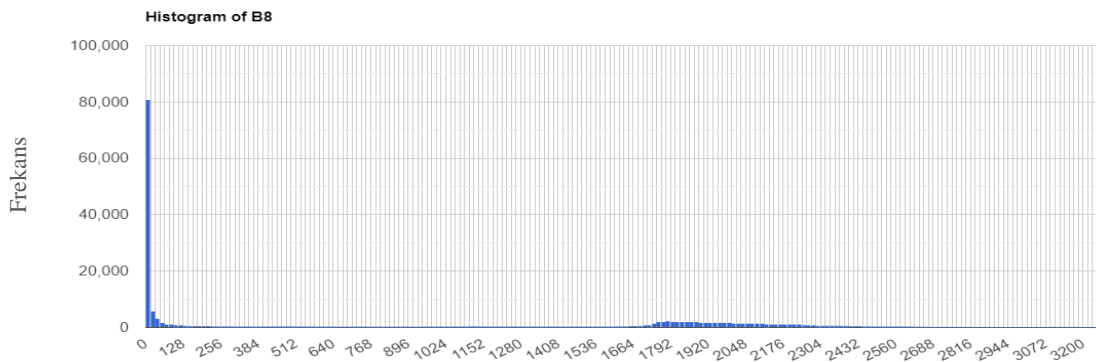
$$D_b = \frac{\sum_1^n \left| \frac{z_1 - z_2}{z_1} \right|}{n} \quad (3.5)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{\sum_1^n (z_1 - z_2)^2}{n}} \quad (3.6)$$

Yukarıdaki eşitlikler sırasıyla mutlak hata, bağıl hata ve RMSE'yi temsil etmektedir. Bu eşitlikler ile dört farklı ayda elde edilen batimetri verilerinin hataları hesaplanmıştır ve Çizelge 4.4, 4.5'te gösterilmiştir. Türetilen batimetrik haritaların anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla ortalama derinlik değerleri ile kıyı çizgisi değişimi arasındaki ilişkide incelenmiştir.

### 3.3.3. Kıyı çizgisi çıkarımı

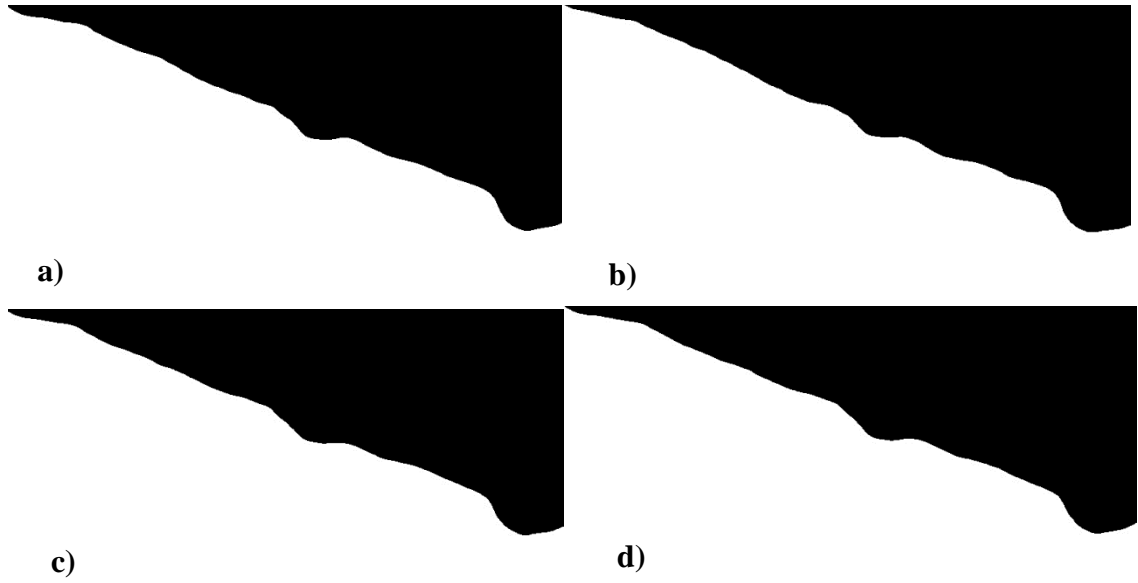
Literatürde, uydu görüntülerinden türetilen batimetrik verilerin kıyı çizgisi ile ilişkisini inceleyen çalışmalar rastlanmamıştır. Bu yüzden elde edilen batimetrik verilerin kıyı çizgisi ile ilişkisi incelenmiş ve kıyı çizgisi ile doğruluk değerlendirmesi amaçlanmıştır. Kıyı çizgisi çıkarımı yapmak için bu tezde görüntünün istatistiksel özelliklerini kullanan bir yöntem uygulanmıştır. Görüntü üzerinde kayan bir pencere gezdirerek varyans haritası oluşturulmuş daha sonra bu varyans haritasında OTSU eşikleme yöntemi kullanılarak kara deniz ayrımı yapılmıştır. OTSU yöntemi yaygın olarak kullanılan bir eşikleme yöntemidir. Siyah beyaz görüntüde, sınıf içi varyansın ağırlıklı toplamını minimize edecek şekilde, bir eşik değeri bulma esasına dayanmaktadır (Otsu 1979). Bu tez çalışmasında kıyı çizgisi tespiti için Google Earth Engine (GEE) platformunda, Sentinel-2 uydusunun NIR bandı import edilmiştir. Daha sonra bu bant üzerinden 5x5'lik bir mean filtre uygulanarak görüntü daha gürültüsüz hale getirilmiştir ve histogramı oluşturulmuştur.



**Şekil 3. 8.** 2019 Ocak NIR bandı histogramı

Şekil 3.3'te görüldüğü üzere su alanları dar bir yansıma aralığına sahip ve sifıra yakındır. Karaya sahip bölgeler ise daha geniş bir yansıma aralığına sahiptir. Diğer üç ayda histogramları benzer şekildedir. Elde edilen histogramlar iki tepeye sahip ve

OTSU yöntemi ile bu iki tepe arasında iki sınıf için varyansın minimum olduğu bir eşik değeri tespit edilmiştir. NIR bandı üzerinde 5x5'lik bir pencere gezdirilerek varyans haritası oluşturuldu ve histogram eşikleme ile eşik değeri belirlenmiştir. Varyans, denize sahip bölgelerde düşükken, kara bölgelerinde daha fazladır. Çünkü karada denize göre daha fazla çeşitlilik vardır. Örneğin ev, yol, ağaçlar gibi cisimler yüksek pürüzlülüğe sahiptir. Ancak kıyı bölgelerinde deniz ve karaya göre varyans değerleri daha yüksektir. Bu çalışmada ele alınan kıyı çizgisi bulma yöntemi varyans değerlerinin yüksek olması üzerine kurulmuştur. OTSU yöntemi ile belirlenen eşik değeri NIR bandına uygulanarak kara ve denize sahip bölgeler sınıflandırılmıştır. Dört farklı ay için eşik değerleri belirlenerek oluşturulan kara ve deniz sınıfları Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 3. 9.** NIR bandına eşik değerleri uygulandıktan sonra elde edilen kara ve deniz sınıfları, karaya ait bölgeler siyah, denize ait bölgeler beyaz renkte gösterilmiştir; **a)** 2018 Aralık; **b)** 2019 Ocak; **c)** 2019 Şubat; **d)** 2019 Mart

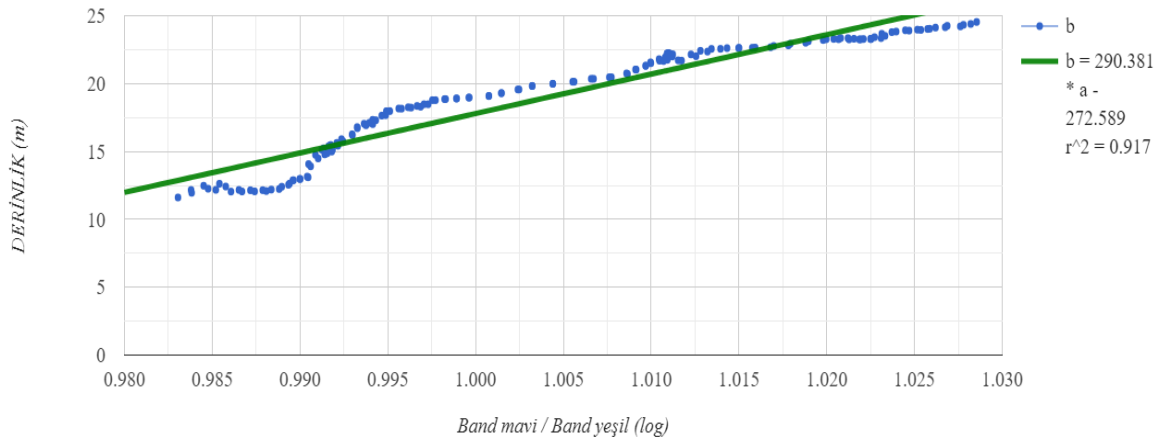
Elde edilen dört farklı aydaki görüntülerde kara ve deniz sınırını belirlemek için Canny kenar bulma algoritması kullanarak kıyı çizgisi tespit edilmiştir. Bu algoritma görüntü üzerindeki piksellerin renk değerlerinin birbirinden farklılaşma ilkesine dayanarak kenar bulma işlemini gerçekleştirmektedir.



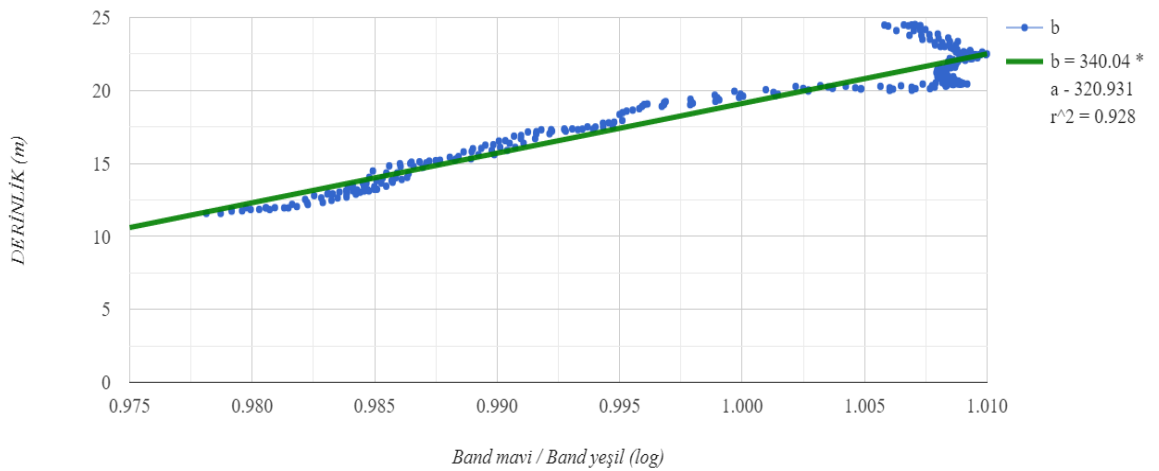
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada bant oran yöntemiyle aynı bölgenin dört farklı ayda batimetri analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen batimetrik haritalar, bölgenin referans batimetri verileriyle karşılaştırılarak hata miktarları hesaplanmıştır. Hata miktarlarına ek olarak bölgede batimetri değişimlerinin kıyı çizgisi üzerinde nasıl bir etkiye sebep olduğu incelenmiştir.

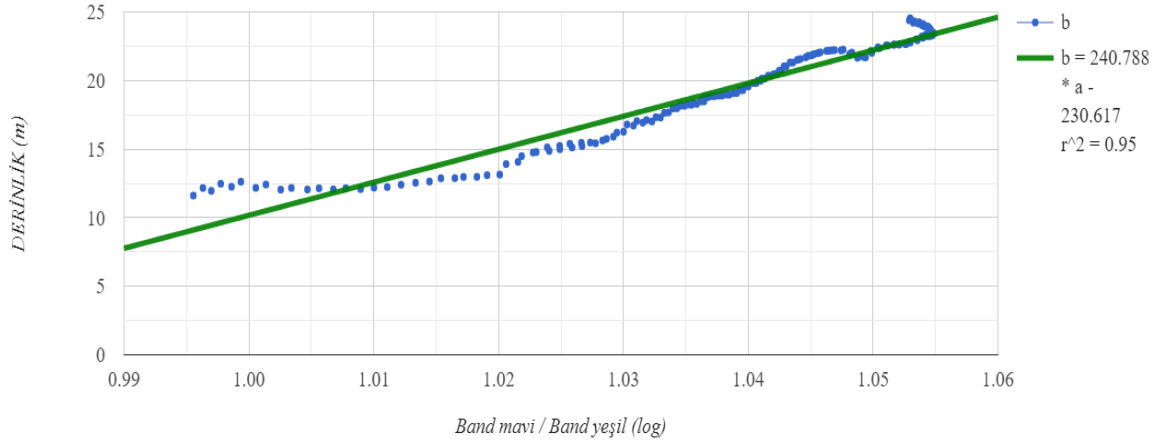
Bölgenin referans batimetri değerleri ile mavi bandın yeşil banda oranından elde edilen değerler arasında doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analiziyle Eşitlik 3.3'ün bilinmeyen  $m_0$  ve  $m_1$  katsayıları hesaplanmıştır. Dört ayın regresyon değerleri ve katsayıları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



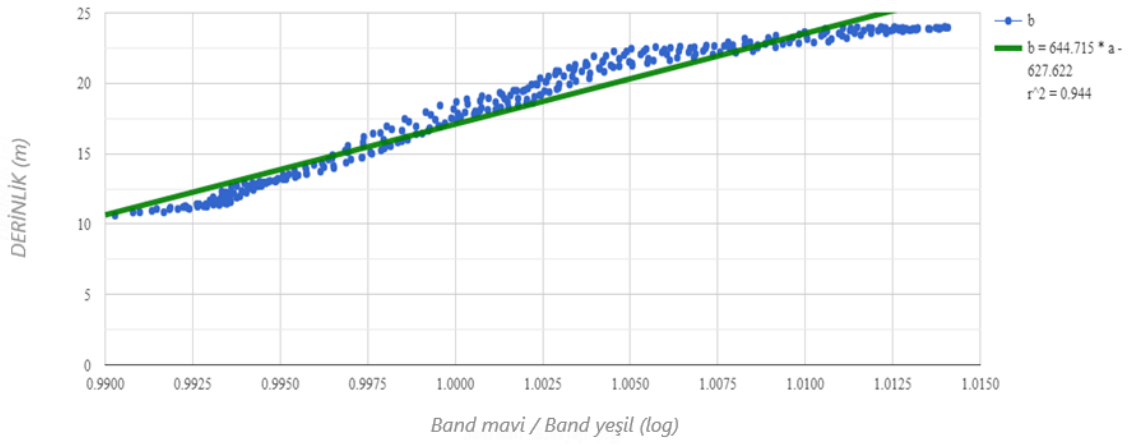
Şekil 4. 1. 2018 Aralık; derinlik değerleri ile bant oran değerleri arasındaki ilişki



Şekil 4. 2. 2019 Ocak; derinlik değerleri ile bant oran değerleri arasındaki ilişki



**Şekil 4. 3.** 2019 Şubat; derinlik değerleri ile bant oran değerleri arasındaki ilişki



**Şekil 4. 4.** 2019 Mart; derinlik değerleri ile bant oran değerleri arasındaki ilişki

Regresyon analizleri sonucunda, derinlikle yansıma değerleri arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.1’de dört aya ait hesaplanan kalibrasyon katsayıları,  $R^2$  ve korelasyon değerleri gösterilmiştir.

**Çizelge 4. 1.** Dört ayın kalibrasyon,  $R^2$  ve korelasyon değerleri

	$m_0$	$m_1$	$R^2$	Korelasyon
<b>2018 Aralık</b>	290.381	272.589	0.917	0.958
<b>2019 Ocak</b>	340.044	320.931	0.928	0.963
<b>2019 Şubat</b>	240.788	230.617	0.950	0.975
<b>2019 Mart</b>	644.715	627.622	0.944	0.972

Genel olarak, doğrusal regresyon analizleriyle elde edilen korelasyon değerleri, veriler arasında yüksek bir ilişki olduğunu göstermiştir. Her bir ayın kalibrasyon değerleri kullanılarak bölgenin geniş çaplı batimetri analizleri gerçekleştirilmiştir. Dört farklı ayda hesaplanan batimetri verilerinin ortalaması alınarak, aylık bazda ortalama derinlik değerlerinin değişimi, kıyı çizgisinde nasıl bir değişim meydana getirdiği bu tez çalışmasında incelenmiştir. Kıyı çizgisinde meydana gelen değişimi, referans batimetri tarihine ait kıyı çizgisi ve ortalama derinlik değerini referans alınarak yapılmıştır.

**Çizelge 4. 2.** Ortalama derinlik değerleri

	2018 Aralık	2019 Ocak	2019 Şubat	2019 Mart	2017 Eylül Referans batimetri
<b>Ortalama derinlik (m)</b>	17.244	17.840	18.069	18.191	18.357

**Çizelge 4. 3.** 2017 referans kıyı çizgisinden olan uzaklıklar

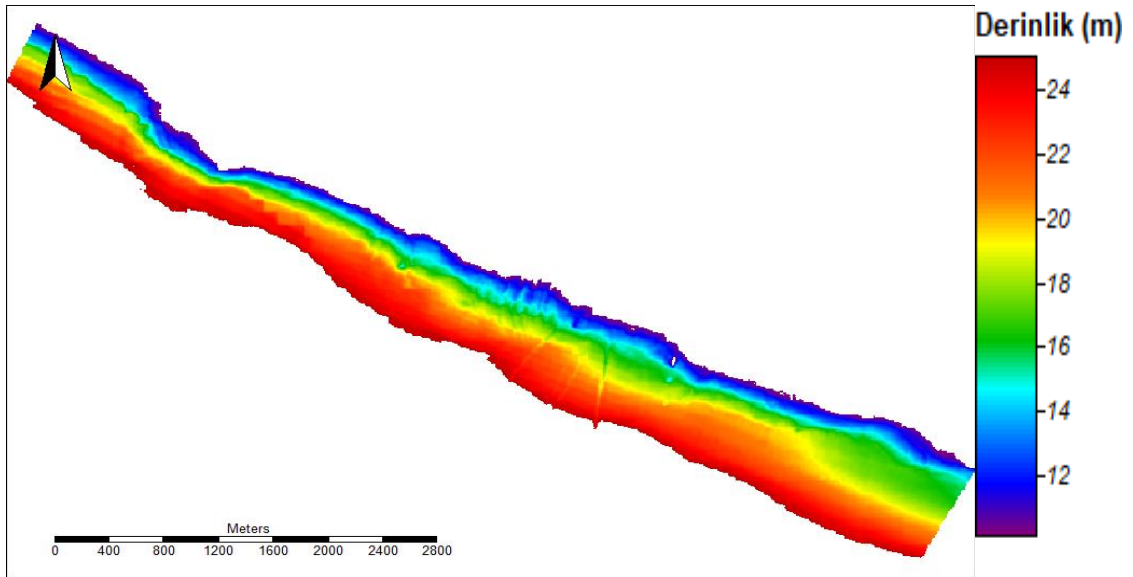
	2018 Aralık	2019 Ocak	2019 Şubat	2019 Mart
<b>Referans kıyı çizgisine olan uzaklıklar (m)</b>	31.564 Denize doğru ilerleme	63.188 Denize doğru ilerleme	23.385 Denize doğru ilerleme	13.239 Denize doğru ilerleme

Tespit edilen kıyı çizgilerinden kıyıya dik bir doğru üzerinde rastgele noktalar seçilmiştir. Bu işlem bölgede üç farklı yerde de yapılmıştır. Daha sonra bu noktaların referans kıyı çizgisine olan uzaklıkları hesaplandı ve her ayın ortalama kıyı çizgisine olan uzaklığı belirlenmiştir (Çizelge 4.3 ). Dört ayında referans kıyı çizgisinden geride olduğu yani kıyı çizgileri denize doğru hareket ettiği tespit edilmiştir. Elde edilen dört ayın batimetri verileri, bölgenin referans batimetri verileriyle hata analizleri yapılmıştır. Hatalar mutlak hata, bağıl hata ve RMSE ile değerlendirilmiştir. Çizelge 4.4'te hesaplanan batimetri verilerinin hata miktarları gösterilmiştir.

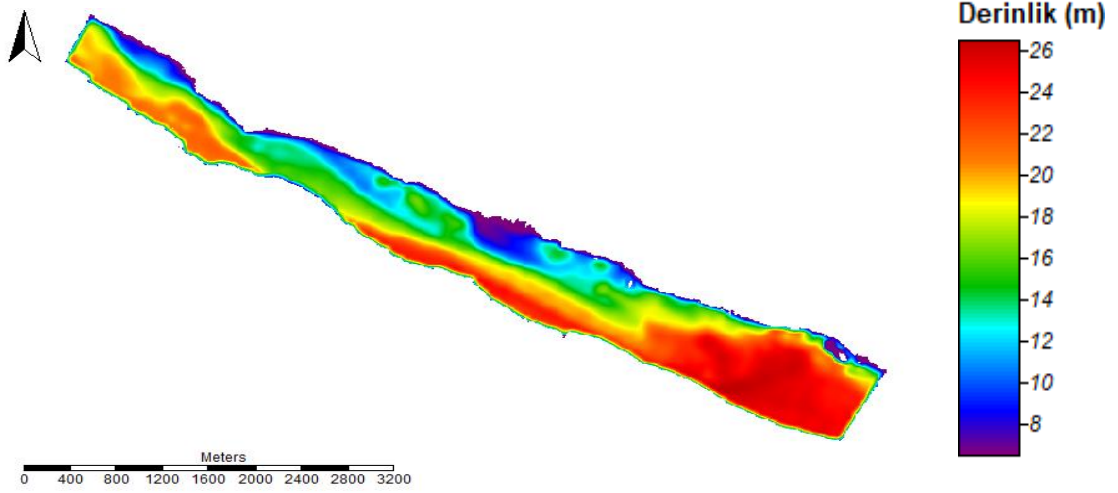
Çizelge 4. 4. Hesaplanan batimetri verilerinin hata miktarları

	Mutlak Hata (m)	Bağıl Hata (%)	RMSE (m)
<b>2018 Aralık</b>	3.611	20.839	4.511
<b>2019 Ocak</b>	2.447	17.799	3.061
<b>2019 Şubat</b>	5.639	35.800	6.492
<b>2019 Mart</b>	2.215	13.573	2.815

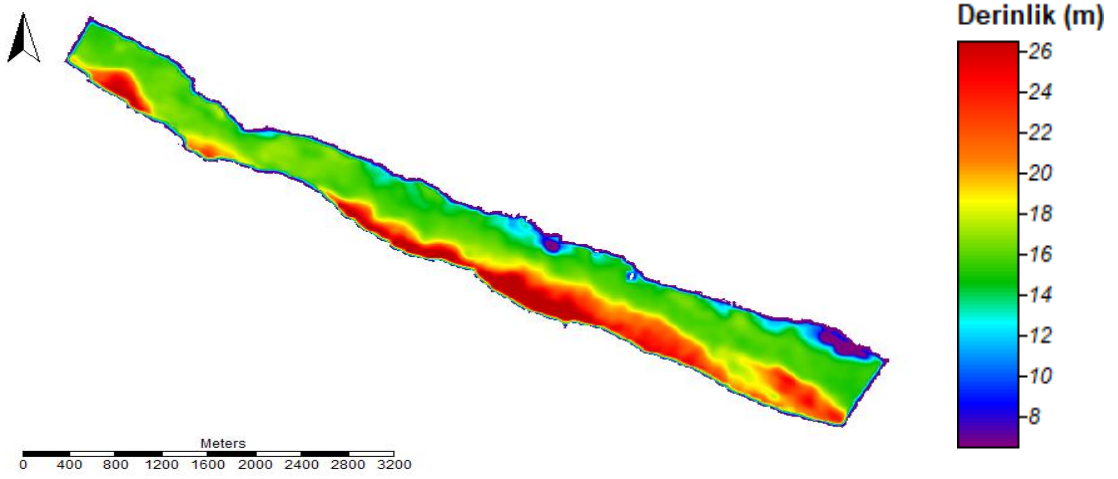
Referans batimetri verisine göre yapılan doğruluk değerlendirmesinde en düşük RMSE değeri mart ayında ve en yüksek RMSE değeri ise şubat ayında tespit edilmiştir. Hesaplanan batimetri verileri ile referans batimetri verileri arasındaki zaman farkı bölgedeki derinlik değerlerinde bir değişime neden olabilmektedir. Dolayısıyla bu da hata miktarlarını etkileyen faktörlerden biridir. Bu faktörü elemine edebilmek için kıyı çizgileri ile batimetri verilerini güncelleyen bir hesaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan hata analizlerinde mart ayı en düşük hataya sahip olduğu için mart ayı kıyı çizgisi ve ortalama derinlik değeri referans verilerle ilişkilendirilmiştir. Çizelge 4.2 ve 4.3'te görüldüğü üzere referans ortalama derinlikten mart ayı 0.166 m daha az ortalama derinliğe sahiptir. Bu da kıyı çizgisinin mart ayında, referans kıyı çizgisine göre 13. 239 m denize doğru ilerlemesine neden olmuştur. Bu ilişkiyi kullanarak tespit edilen kıyı çizgilerinin referans kıyı çizgine olan uzaklıklarına göre aralık, ocak ve şubat aylarının derinlik değerleri hesaplanan katsayılar ile güncellenmiştir. Aşağıdaki şekillerde güncellenen batimetrik haritalar gösterilmiştir.



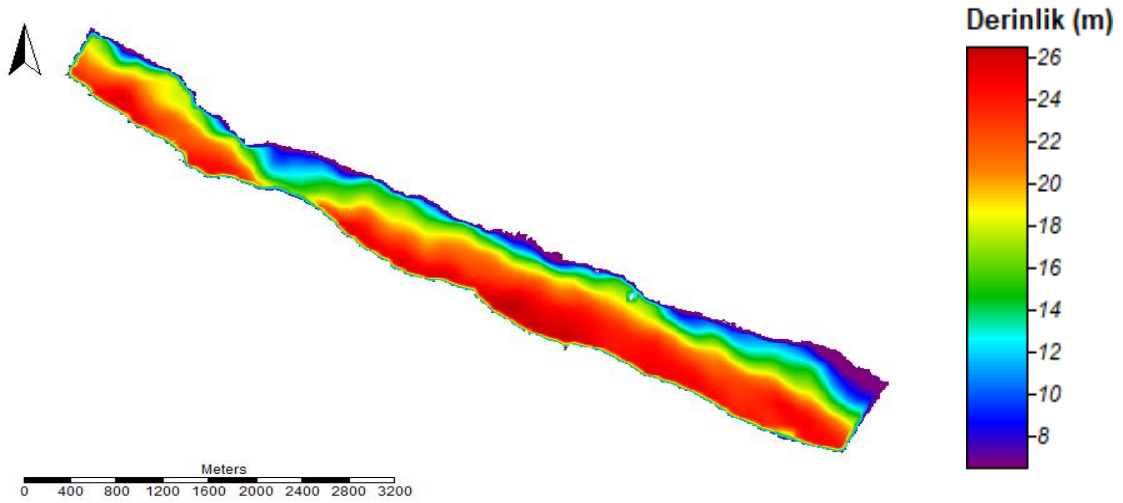
Şekil 4. 5. Bölgenin 2017 Eylül ayı referans batimetri haritası



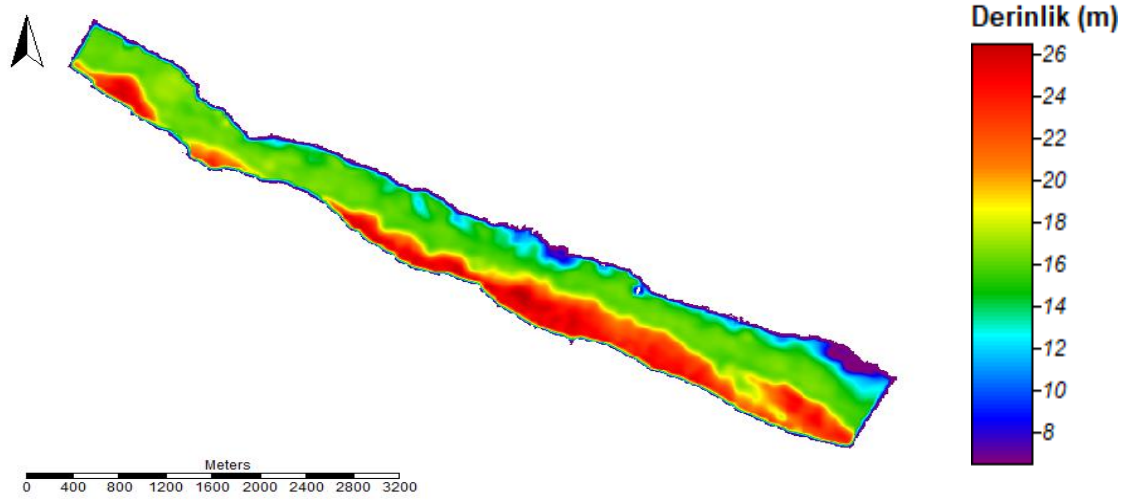
Şekil 4. 6. 2018 Aralık hesaplanan batimetri haritası



Şekil 4. 7. 2019 Ocak hesaplanan batimetri haritası



Şekil 4. 8. 2019 Şubat hesaplanan batimetri haritası



**Şekil 4. 9.** 2019 Mart hesaplanan batimetri haritası

Güncellenen batimetri verileri tekrar referans batimetri verisiyle mutlak hata, bağıl hata ve RMSE değerlendirilmiştir. Güncellemeden önceki hata miktarlarına yakın değerler tespit edilmiştir. Daha sonra güncellenen batimetri verilerinin ortalamaları alınarak kıyı çizgisi ile değişimi incelenmiştir.

**Çizelge 4. 5.** Güncellenen batimetri verilerinin hata miktarları

	<b>Mutlak Hata (m)</b>	<b>Bağıl Hata (%)</b>	<b>RMSE (m)</b>
<b>2018 Aralık</b>	3.471	20.365	4.451
<b>2019 Ocak</b>	2.533	15.015	3.129
<b>2019 Şubat</b>	5.639	35.800	6.491
<b>2019 Mart</b>	2.215	13.573	2.815

**Çizelge 4. 6.** Batimetri verilerinin güncellemeden önceki ve sonraki ortalama değerleri

	<b>2018 Aralık</b>	<b>2019 Ocak</b>	<b>2019 Şubat</b>	<b>2019 Mart</b>	<b>2017 Referans batimetri</b>
<b>Ortalama derinlik (m)</b>	17.244	17.840	18.069	18.191	18.357
<b>Güncellenen ortalama derinlik (m)</b>	17.968	17.572	18.064	18.191	18.357

Batimetri verileri güncellendikten sonra aralık ayında ortalama derinlikte artış olmuştur. Diğer ocak ve şubat aylarında, ortalama derinliklerde azalma meydana gelmiştir. Her ayın ortalama derinlik değerlerindeki değişimler, kıyı çizgilerindeki değişimler ile incelenmiştir. Kıyı çizgisindeki değişimler referans kıyı çizgisine göre hesaplanmıştır.

Güncellenen ortalama derinlik değişimleri ile kıyı çizgisi değişimleri incelendiğinde (Çizelge 4.3 , 4.6 ) ortalama derinlik azalmalarında kıyı çizgisi ile referans kıyı çizgisi arasındaki mesafe artmaktadır. Ortalama derinlik artışlarında ise kıyı çizgisi ile referans kıyı çizgisi arasındaki mesafe azalmaktadır. Örneğin aralık ayından ocak ayına geçerken, ortalama derinlikte 0.396 m bir düşüş tespit edilmiştir. Buda ocak ayı kıyı çizgisinin aralık ayı kıyı çizgisine göre yaklaşık 32 m, referans kıyı çizgisine göre ise 63 m denize doğru ilerlemesine neden olmuştur. Genel olarak ortalama derinlik artışları ve azalışlarında, kıyı çizgisinde meydana gelen değişimler doğru orantılı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Derinlikler güncellenmeden önceki durumda ise sadece ocak ayı ters orantılı olarak hareket sergilemiştir. Güncellemeden sonra diğer aylar gibi kıyı çizgisiyle doğru orantılı olarak ilişki göstermiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.8 bir önceki ay kıyı çizgisi referans alınarak kendi aralarındaki kıyı çizgisi değişimlerini göstermektedir.

**Çizelge 4. 7.** Bir önceki ayın kıyı çizgisi referans alınarak ortalama kıyı çizgisinin değişimi

	<b>Aralık - Ocak</b>	<b>Ocak - Şubat</b>	<b>Şubat - Mart</b>
<b>Bir önceki aya göre aylık kıyı çizgisi değişimi (m)</b>	(-) 31.654 Denize doğru ilerleme	(+) 39.803 Karaya doğru ilerleme	(+) 10.146 Karaya doğru ilerleme

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi aralık ayından ocak ayına geçen ortalama derinlik azalışı kıyı çizgisinin denize doğru ilerlemesine neden olmuştur. Diğer aylarda artan ortalama derinliklerle, kıyı çizgisi karaya doğru ilerlemiştir.



**Şekil 4. 10.** 2017 referans ve 2018 Aralık ayı kıyı çizgileri gösterimi

Aralık ayı referans batimetri ortalamasından 0.389 m daha düşük ortalama derinliğe sahiptir. Dolayısıyla yukarıdaki şekilde görüldüğü üzere aralık ayı kıyı çizgisi, referans kıyı çizgisinden ortalama 31 m denize doğru ilerlemiştir.



**Şekil 4. 11.** 2017 referans ve 2019 Ocak ayı kıyı çizgileri gösterimi

Ocak ayı referans batimetri ortalamasından 0.785 m daha düşük ortalama derinliğe sahiptir. Bu aradaki fark yaklaşık olarak aralık ayına göre iki kat daha fazladır. Sonuç olarak ocak ayı, aralık kıyı çizgisinden daha fazla denize ilerlemesi gerekmektedir. Yapılan analizde de ocak ayı kıyı çizgisi, referans kıyı çizgisinden ortalama 63 m denize doğru ilerlediği tespit edilmiştir.





**Şekil 4. 12.** 2017 referans ve 2019 Şubat ayı kıyı çizgileri gösterimi

Şubat ayı ile referans batimetri ortalama derinlik farkı 0.293 m tespit edilmiştir. Bu derinlik farkı iki kıyı çizgisi arasında ortalama 23 m fark oluşturmuştur. Yukarıdaki şekilde, şubat ayı kıyı çizgisinin referans kıyı çizgisine yaklaştığı görülmektedir.



**Şekil 4. 13.** 2017 referans ve 2019 Mart ayı kıyı çizgileri gösterimi

Mart ayı ortalama derinlik farkı en düşük olan ay olarak tespit edilmiştir. Ortalama 0.166 m derinlik azalışı, mart ayı kıyı çizgisinin referans kıyı çizgisinden ortalama 13 m denize doğru ilerlemesine neden olmuştur. Dolayısıyla bu çalışmada kıyı çizgisindeki değişimler, aylık türetilen batimetrik verilerdeki değişimler ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Su seviyesi yükseldiğinde, otomatik olarak kıyı çizgisi karaya doğru ilerleme veya su seviyesi düştüğünde ise kıyı çizgisinde denize doğru ilerleme meydana gelmiştir. Ayrıca bu pozitif ilişki bant oran yöntemiyle hesaplanan batimetri verilerinin doğruluğunu desteklemiştir.

Genel olarak türetilen batimetri verileri incelendiğinde, dört ayda yaklaşık olarak ortalama 4 m RMSE değerine sahiptir. En iyi korelasyon ve en yüksek hata değerleri 2019 Şubat ayına ait olduğu görülmüştür. Korelasyonun yüksek olduğu aylarda hatalarında düşük olması beklenir, ancak şubat ayında çalışma bölgesinin bazı kısımlarında, farklı su özelliklerine sahip bölgelerin olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca uydu görüntü alma tarihleri, referans batimetri alma tarihine yakın olması, daha doğru sonuçlar elde etmek için önemli bir etkidir.

Bu tez çalışması, Sentinel-2 uydu görüntülerinin düşük bulanıklık koşullarında Los Angeles kıyı bölgeleri için 10 m uzaysal çözünürlükte batimetriyi tahmin etme potansiyelini göstermektedir. Sonar ve LIDAR sistemleri ile yapılan analizler, zaman ve maliyet açısından sınırlıdır. Ancak uydu görüntüleri ile yapılan batimetri çalışmaları bu çalışmada olduğu gibi zaman ve maliyetten çok daha az etkilenmiştir. Ayrıca diğer analiz yöntemlerine göre tekrarlanabilirlik ve geniş alanların analizi açısından diğerlerine göre daha büyük potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Bant oran yöntemiyle türetilen batimetri haritalarında, ortalama 25 m derinliğe sahip bölgelerde güneş ışınlarının daha fazla soğrulmasından dolayı o bölgelerde daha fazla hatalı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca ortalama 10 m derinliğe sahip bölgelerde suyun bulanıklığı ve bazı kısımlarda klorofilin bulunması hataları arttırmıştır. Çünkü suyun bulanıklığı ve klorofilin varlığı, doğruluğu etkileyen en önemli faktörlerdir (Caballero vd. 2019; Y. Li vd. 2019; Tamminga vd. 2015). Bu faktörlere ek olarak yöntem, uydu sensörleri, veri işleme ve istatistiksel hatalar eklenebilir.

Ekvatordaki 5 günlük zamansal çözünürlüğüne sahip olan Sentinel-2 uyduları, Dünya gözleminde yeni bir yetenek sunmaktadır. İkiz uydu sisteminden oluşan bu uydular, çok sayıda görüntü vermektedirler. Bu görüntüler bulutlu havalar ve güneş parlaması sorunları gibi olan bölgelerde uydulardan batimetri tahminlerini geliştirmek için zamansal çözünürlük açısından büyük avantaja sahiptirler. Casal vd. (2019) İrlanda kıyılarında Sentinel-2A verilerini kullanmış ve 10 m'ye kadar derinlikler için RMSE değerini 1,4 m tespit etmişlerdir. Yapılan bu tez çalışmasında ise kıyıda 10 m'ye kadar derinliğe sahip bölgelerde klorofil ve suyun bulanıklığından dolayı batimetri tahmini yapılamamıştır. Stumpf vd. (2003) bant oran yönteminin berrak ve sığ sularda 25 m derinliğe kadar %30'luk bir RMSE hatasının olabileceğinden bahsetmiştir. Nitekim yapılan bu tez çalışmasında da 10 ile 25 m derinlik aralığında, RMSE değeri ortalama 4.22 m olarak tespit edilmiştir. Uydu görüntülerinden batimetri tahmini mevcut yöntemler ve ücretsiz uydu görüntüleri (Sentinel-2, Landsat-8) kullanarak 10 ile 30 m çözünürlüklerde serbestçe üretilebilmektedir. Daha yüksek çözünürlüklü batimetri elde etmek için (<5m) genellikle bir maliyet gerekmektedir (Collin vd., 2014). Sentinel-2A görüntüleriyle yapılan bu tez çalışmasında 10 m çözünürlüğünde batimetrik haritalar üretilmiştir. Ancak yüksek hassasiyet isteyen kıyı çalışmalarında 10 m çözünürlüğünden daha yüksek çözünürlük gerekebilir. Bu durumda Sentinel-2 görüntüleri yerine daha yüksek çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri kullanılabilir. Casal vd. (2020) İrlanda sahili

boyunca üç farklı çalışma alanında, Sentinel-2 verilerini kullanarak fizik tabanlı batimetrik veriler üretmişlerdir. Bu üç çalışma alanı farklı bulanıklık özelliklerine sahip bölgelerdir. Analiz sonucunda üç çalışma alanı için RMSE değerlerini 1.60, 1.66 ve 2.43 m tespit etmişlerdir. Fizik tabanlı model tez çalışmasında kullanılan ampirik modele göre derinliği bilinen verilere ihtiyaç duymamaktadır. Ancak çalışma bölgesindeki suyun ve deniz tabanının bir dizi optik özelliği bilinmesi gerekmektedir (Gao, 2009). Örneğin kum, çakıl taşları, kahverengi ve yeşil mikroalgler vb. yapıların spektral imzaları gerekmektedir. Dolayısıyla fizik tabanlı model kullandığımız ampirik modele göre daha fazla parametreye ihtiyaç duymaktadır. Casal vd. (2020) elde ettikleri RMSE değerleri, bu tez çalışmasından elde edilen RMSE değerlerinden, çalışma alanlarından bağımsız olarak, ortalama 2.10 m daha iyi performans göstermiştir. Her iki model suyun optik özelliklerine, çalışmanın amacına, hassasiyetine ve gerekli saha parametrelerine bağlı olacak tercih edilebilmektedir.

Literatürde yapılan batimetrik çalışmalarda kıyı çizgisinin hesaplanan batimetri verileriyle ilişkisini inceleyen çalışmalara rastlanmamıştır. Tezin 2. bölümünde bahsedildiği gibi genel olarak üretilen batimetri haritaları RMSE ve  $R^2$  değerleriyle doğruluğu değerlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında üretilen batimetrik haritalar RMSE ve  $R^2$ 'ye ek olarak kıyı çizgisindeki değişimleri gözleyerek de değerlendirilmiştir. Kıyı çizgisinde zamansal olarak meydana gelen değişiklikler, batimetri verileriyle ilişkilendirilerek batimetri verileri güncellenmiştir. Özellikle tek bir tarihe ait batimetri verisiyle yapılan zamansal çalışmalarda, kıyı çizgileri bölgenin batimetrisini güncellemede kullanılabilir bir veri kaynağı olduğu bu çalışmada gösterilmiştir. Ortalama derinlik değişimlerinde kıyı çizgisinin davranışı üretilen batimetri verilerinin doğruluğunu destekleyen bir veri olarak düşünülebilir. Ayrıca bu veri ile ortalama derinlik değişimlerinde oluşabilecek kıyı erozyonları hakkında çıkartımlar yapılabilir. Dolayısıyla gelecek çalışmalarda batimetri analizlerinin daha yüksek çözünürlüklü uydu verileri ve geliştirilmiş yöntemler kullanarak daha hassas sonuçlar elde edilebilir. Elde edilen veriler ile su seviyesinin yükselmesi durumunda kıyıda ne kadarlık bir alan sular altında kalacağı, kıyı yapıları için söz konusu tehlikeler vb. çalışmalar yapılabilir. Sonuç olarak uydulardan elde edilen batimetri verileri uzak bölgelerde, ulaşılması zor alanlarda veya sondaj yapılmayan alanlarda referans verileri olarak kullanılabilir. Bu nedenle batimetri araştırmalarının yapılmadığı veya yetersiz kaldığı alanlarda potansiyel bir teknoloji olarak düşünülebilir. Özellikle küresel ısınma, iklim değişikliği ve buzulların erimesi göz önüne alındığında bu tür çalışmalar hayati önem arz etmektedir.

## 5. SONUÇLAR

Kıyı bölgeleri, iklim değişikliği, küresel ısınma, insan faaliyetleri vb. etkenlerden en fazla etkilenen yerlerdir. Kıyı bölgelerinde turizm ve limanlar en önemli geçim kaynaklarıdır. Dolayısıyla ekonomik açıdan büyük bir paya sahip olması yanında, Dünya nüfusunun büyük bir kısmı bu bölgelerde yaşamaktadır. Bu bölgelerin olası tehlikelerden korunması, önlem alınması için kıyı bölgelerindeki değişimlerin izlenmesi önemlidir. Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle Dünya yörüngesine birçok yer gözlem uyduları yerleştirilmiştir. Uyduların kaydetmiş olduğu verileri, uzaktan algılama teknikleriyle analizler yaparak, kıyı bölgelerindeki değişimler zamansal olarak gözlenebilmektedir. Kıyı bölgelerinde güncel doğru batimetri haritaların üretilmesi uydu görüntüleriyle mümkündür. Elde edilen batimetri haritaları ile gemi güzergahları belirleme, uygun liman için bölge seçimi, kıyı bölgesi yerleşim alanı belirleme gibi birçok önemli sonuçlar çıkartılabilir.

Tez çalışmasında optik uydu görüntü verilerini, bant oran yöntemiyle batimetri türetme önerilmiştir. Yöntem çalışma bölgesinin referans batimetri verileri ile uydu verileri arasında doğrusal regresyon analizlerini içermektedir. Regresyon analizi ile elde edilen kalibrasyon katsayıları yardımıyla bölgenin bilinmeyen batimetri verilerini türetmeyi amaçlamaktadır. Yöntem literatürdeki diğer yöntemlere göre daha kolay ve daha hızlı sonuçlar elde edilmesi bakımından önemli bir avantaja sahiptir. Analiz aracı olarak javascript ve python programlama dillerine sahip GEE platformu kullanılmıştır.

Ardışık dört farklı ayda bölgenin batimetri analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar bölgenin referans batimetri verileriyle doğruluğu test edilmiştir. Bant oran yöntemiyle elde edilen batimetri verileri, ardışık dört ay için yaklaşık RMSE değeri 4.22 m olarak tespit edilmiştir. Genel olarak yöntem, hassasiyetin düşük olduğu çalışmalarda Sentinel-2 uydu verileriyle 10 m çözünürlüğünde batimetrik haritalar üretebileceğini göstermiştir. Optik uydu görüntülerinden türetilen batimetri analizlerinde suyun kalitesi doğruluğu etkileyen önemli bir parametre olduğu, bulanık sularda yöntemin doğru sonuçlar vermediği belirlenmiştir.

Tez çalışmasında ek olarak optik uydu görüntüleri kullanarak kıyı çizgisi tespiti yapılmıştır. Ardışık dört ay için hesaplanan batimetri verileri ile kıyı çizgisi arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu ilişki aylık değişen ortalama derinliklerde kıyı çizgisinin nasıl bir davranış gösterdiğini belirtmek için kullanılmıştır. Her bir ay için OTSU eşikleme yöntemi kullanarak, optimum eşik değeri ile su ve kara sınıfları oluşturulmuştur. Daha sonra Canny kenar bulma algoritmasıyla kıyı çizgisi tespit edilmiştir. Elde edilen kıyı çizgileri, ortalama derinlik değişimleri ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Ortalama derinlik artışlarında kıyı çizgisinin karaya doğru ilerlediği, ortalama derinlik azalmalarında kıyı çizgisinin denize doğru ilerlediği görülmüştür. Sonuç olarak türetilen batimetrik haritalar ile kıyı çizgisi değişimi, optik uydu verilerinden türetilen batimetrik verilerin doğruluğunu desteklemiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abdallah, H., Baghdadi, N., Bailly, J.-S., Pastol, Y., & Fabre, F. (2012). Wa-LiD: A new LiDAR simulator for waters. *IEEE Geoscience and remote sensing letters*, 9(4), 744-748.
- Albert, A., & Mobley, C. (2003). An analytical model for subsurface irradiance and remote sensing reflectance in deep and shallow case-2 waters. *Optics Express*, 11(22), 2873-2890.
- Almonacid-Caballer, J., Sánchez-García, E., Pardo-Pascual, J. E., Balaguer-Beser, A. A., & Palomar-Vázquez, J. (2016). Evaluation of annual mean shoreline position deduced from Landsat imagery as a mid-term coastal evolution indicator. *Marine Geology*, 372, 79-88.
- Alpers, W., & Hennings, I. (1984). A theory of the imaging mechanism of underwater bottom topography by real and synthetic aperture radar. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 89(C6), 10529-10546.
- Ashphaq, M., Srivastava, P. K., & Mitra, D. (2021). Review of near-shore satellite derived bathymetry: classification and account of five decades of coastal bathymetry research. *Journal of Ocean Engineering and Science*.
- Bak, A. S., Brodie, K. L., Hesser, T. J., & Smith, J. M. (2019). Applying dynamically updated nearshore bathymetry estimates to operational nearshore wave modeling. *Coastal Engineering*, 145, 53-64.
- Benny, A., & Dawson, G. (1983). Satellite imagery as an aid to bathymetric charting in the Red Sea. *The Cartographic Journal*, 20(1), 5-16.
- Bian, X., Shao, Y., Tian, W., Wang, S., Zhang, C., Wang, X., & Zhang, Z. (2017). Underwater topography detection in coastal areas using fully polarimetric SAR data. *Remote Sensing*, 9(6), 560.
- Bian, X., Shao, Y., Tian, W., & Zhang, C. (2016). Estimation of shallow water depth using HJ-1C S-band SAR data. *The Journal of Navigation*, 69(1), 113-126.
- Bian, X., Shao, Y., Wang, S., Tian, W., Wang, X., & Zhang, C. (2018). Shallow water depth retrieval from multitemporal sentinel-1 SAR data. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 11(9), 2991-3000.
- Bian, X., Shao, Y., Zhang, C., Xie, C., & Tian, W. (2020). The feasibility of assessing swell-based bathymetry using SAR imagery from orbiting satellites. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 168, 124-130.
- Boccia, V., Renga, A., Moccia, A., & Zoffoli, S. (2015). Tracking of coastal swell fields in SAR images for sea depth retrieval: Application to ALOS L-band data. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 8(7), 3532-3540.
- Bramante, J. F., Raju, D. K., & Sin, T. M. (2013). Multispectral derivation of bathymetry in Singapore's shallow, turbid waters. *International journal of remote sensing*, 34(6), 2070-2088.

- Brando, V. E., Anstee, J. M., Wettle, M., Dekker, A. G., Phinn, S. R., & Roelfsema, C. (2009). A physics based retrieval and quality assessment of bathymetry from suboptimal hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*, 113(4), 755-770.
- Brock, J. C., Wright, C. W., Clayton, T. D., & Nayegandhi, A. (2004). LIDAR optical rugosity of coral reefs in Biscayne National Park, Florida. *Coral Reefs*, 23(1), 48-59.
- Brusch, S., Held, P., Lehner, S., Rosenthal, W., & Pleskachevsky, A. (2011). Underwater bottom topography in coastal areas from TerraSAR-X data. *International journal of remote sensing*, 32(16), 4527-4543.
- Caballero, I., & Stumpf, R. P. (2019). Retrieval of nearshore bathymetry from Sentinel-2A and 2B satellites in South Florida coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 226, 106277.
- Caballero, I., Stumpf, R. P., & Meredith, A. (2019). Preliminary assessment of turbidity and chlorophyll impact on bathymetry derived from Sentinel-2A and Sentinel-3A satellites in South Florida. *Remote Sensing*, 11(6), 645.
- Cahalane, C., Magee, A., Monteys, X., Casal, G., Hanafin, J., & Harris, P. (2019). A comparison of Landsat 8, RapidEye and Pleiades products for improving empirical predictions of satellite-derived bathymetry. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111414.
- Calkoen, C., Hesselmanns, G., Wensink, G., & Vogelzang, J. (2001). The bathymetry assessment system: efficient depth mapping in shallow seas using radar images. *International journal of remote sensing*, 22(15), 2973-2998.
- Casal, G., Hedley, J. D., Monteys, X., Harris, P., Cahalane, C., & McCarthy, T. (2020). Satellite-derived bathymetry in optically complex waters using a model inversion approach and Sentinel-2 data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 241, 106814.
- Casal, G., Monteys, X., Hedley, J., Harris, P., Cahalane, C., & McCarthy, T. (2019). Assessment of empirical algorithms for bathymetry extraction using Sentinel-2 data. *International journal of remote sensing*, 40(8), 2855-2879.
- Ceyhun, Ö., & Yalçın, A. (2010). Remote sensing of water depths in shallow waters via artificial neural networks. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 89(1), 89-96.
- Chen, A., & Zhu, B. (2015). Comparison of three empirical methods for water depth mapping with case study of Pratas Island. *Remote Sensing of the Environment: 19th National Symposium on Remote Sensing of China*,
- Chen, B., Yang, Y., Xu, D., & Huang, E. (2019). A dual band algorithm for shallow water depth retrieval from high spatial resolution imagery with no ground truth. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 151, 1-13.
- Chen, Y., Le, Y., Zhang, D., Wang, Y., Qiu, Z., & Wang, L. (2021). A photon-counting LiDAR bathymetric method based on adaptive variable ellipse filtering. *Remote Sensing of Environment*, 256, 112326.
- Chybicki, A. (2017). Mapping South Baltic near-shore bathymetry using sentinel-2 observations. *Polish Maritime Research*.

- Chybicki, A. (2018). Three-dimensional geographically weighted inverse regression (3GWR) model for satellite derived bathymetry using Sentinel-2 observations. *Marine Geodesy*, 41(1), 1-23.
- Clark, R. K., Fay, T. H., & Walker, C. L. (1987). Bathymetry calculations with Landsat 4 TM imagery under a generalized ratio assumption. *Applied optics*, 26(19), 4036\_4031-4038.
- Correal, R., Pajares, G., & Ruz, J. J. (2014). Automatic expert system for 3D terrain reconstruction based on stereo vision and histogram matching. *Expert Systems with Applications*, 41(4), 2043-2051.
- Collin, A., Nadaoka, K., & Nakamura, T. (2014). Mapping VHR water depth, seabed and land cover using Google Earth data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(4), 1157-1179.
- Dartnell, P., & Gardner, J. V. (2004). Predicting seafloor facies from multibeam bathymetry and backscatter data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(9), 1081-1091.
- Dekker, A. G., Phinn, S. R., Anstee, J., Bissett, P., Brando, V. E., Casey, B., Fearn, P., Hedley, J., Klonowski, W., & Lee, Z. P. (2011). Intercomparison of shallow water bathymetry, hydro-optics, and benthos mapping techniques in Australian and Caribbean coastal environments. *Limnology and Oceanography: Methods*, 9(9), 396-425.
- Demir, N., Bayram, B., Şeker, D. Z., Oy, S., & Erdem, F. (2019). A nonparametric fuzzy shoreline extraction approach from Sentinel-1A by integration of RASAT pan-sharpened imagery. *Geo-Marine Letters*, 39(5), 401-415.
- Dost, R., & Mannaerts, C. (2008). Generation of lake bathymetry using sonar, satellite imagery and GIS. Proceedings of the 2008 ESRI international user conference: GIS, Geography in action. San Diego, Florida,
- Doxani, G., Papadopoulou, M., Lafazani, P., Pikridas, C., & Tsakiri-Strati, M. (2012). Shallow-water bathymetry over variable bottom types using multispectral Worldview-2 image. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39(8), 159-164.
- Du Bois, P. B. (2011). Automatic calculation of bathymetry for coastal hydrodynamic models. *Computers & geosciences*, 37(9), 1303-1310.
- Eren, F., Pe'eri, S., Rzhannov, Y., & Ward, L. (2018). Bottom characterization by using airborne lidar bathymetry (ALB) waveform features obtained from bottom return residual analysis. *Remote Sensing of Environment*, 206, 260-274.
- ESA. (2015). Sentinel-2 User Handbook.
- Eugenio, F., Marcello, J., & Martin, J. (2015). High-resolution maps of bathymetry and benthic habitats in shallow-water environments using multispectral remote sensing imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(7), 3539-3549.
- Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 140, 23-35.

- Fisher, A., Flood, N., & Danaher, T. (2016). Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia. *Remote Sensing of Environment*, 175, 167-182.
- Flener, C., Wang, Y., Laamanen, L., Kasvi, E., Vesakoski, J.-M., & Alho, P. (2015). Empirical modeling of spatial 3d flow characteristics using a remote-controlled ADCP system: monitoring a spring flood. *Water*, 7(1), 217-247.
- Gao, J. (2009). Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations. *Progress in Physical Geography*, 33(1), 103-116.
- García-Rubio, G., Huntley, D., & Russell, P. (2015). Evaluating shoreline identification using optical satellite images. *Marine Geology*, 359, 96-105.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289-298.
- Goodman, J. A., Lee, Z., & Ustin, S. L. (2008). Influence of atmospheric and sea-surface corrections on retrieval of bottom depth and reflectance using a semi-analytical model: a case study in Kaneohe Bay, Hawaii. *Applied optics*, 47(28), F1-F11.
- Gordon, H. R., & Morel, A. Y. (2012). Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery: A review.
- Guenther, G. C. (1985). Airborne laser hydrography: System design and performance factors.
- Guenther, G. C., Cunningham, A. G., LaRocque, P. E., & Reid, D. J. (2000). *Meeting the accuracy challenge in airborne bathymetry*.
- Guo, K., Xu, W., Liu, Y., He, X., & Tian, Z. (2018). Gaussian half-wavelength progressive decomposition method for waveform processing of airborne laser bathymetry. *Remote Sensing*, 10(1), 35.
- Halls, J., & Costin, K. (2016). Submerged and emergent land cover and bathymetric mapping of estuarine habitats using worldView-2 and LiDAR imagery. *Remote Sensing*, 8(9), 718.
- Hamylton, S. M., Hedley, J. D., & Beaman, R. J. (2015). Derivation of high-resolution bathymetry from multispectral satellite imagery: A comparison of empirical and optimisation methods through geographical error analysis. *Remote Sensing*, 7(12), 16257-16273.
- Hedley, J. D., Harborne, A. R., & Mumby, P. J. (2005). Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *International Journal of Remote Sensing*, 26(10), 2107-2112.
- Hedley, J., Roelfsema, C., & Phinn, S. R. (2009). Efficient radiative transfer model inversion for remote sensing applications. *Remote Sensing of Environment*, 113(11), 2527-2532.
- Hedley, J. D., Roelfsema, C., Brando, V., Giardino, C., Kutser, T., Phinn, S., Mumby, P. J., Barrilero, O., Laporte, J., & Koetz, B. (2018). Coral reef applications of Sentinel-2: Coverage, characteristics, bathymetry and benthic mapping with comparison to Landsat 8. *Remote Sensing of Environment*, 216, 598-614.



- Hickman, G. D., & Hogg, J. E. (1969). Application of an airborne pulsed laser for near shore bathymetric measurements. *Remote Sensing of Environment*, 1(1), 47-58.
- Holman, R., Plant, N., & Holland, T. (2013). cBathy: A robust algorithm for estimating nearshore bathymetry. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(5), 2595-2609.
- Jasinski, M. F., Stoll, J. D., Cook, W. B., Ondrusek, M., Stengel, E., & Brunt, K. (2016). Inland and near-shore water profiles derived from the high-altitude Multiple Altimeter Beam Experimental Lidar (MABEL). *Journal of coastal research*(76), 44-55.
- Jawak, S., & Luis, A. (2015). Spectral information analysis for the semiautomatic derivation of shallow lake bathymetry using high-resolution multispectral imagery: A case study of Antarctic coastal oasis. *Aquatic Procedia*, 4, 1331-1338.
- Jawak, S. D., Vadlamani, S. S., & Luis, A. J. (2015). A synoptic review on deriving bathymetry information using remote sensing technologies: models, methods and comparisons. *Advances in remote Sensing*, 4(02), 147.
- Jay, S., & Guillaume, M. (2014). A novel maximum likelihood based method for mapping depth and water quality from hyperspectral remote-sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 147, 121-132.
- Jay, S., & Guillaume, M. (2016). Regularized estimation of bathymetry and water quality using hyperspectral remote sensing. *International journal of remote sensing*, 37(2), 263-289.
- Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. (2009). Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11), 1307-1317.
- Kabiri, K. (2017). DISCOVERING OPTIMUM METHOD TO EXTRACT DEPTH INFORMATION FOR NEARSHORE COASTAL WATERS FROM SENTINEL-2A IMAGERY-CASE STUDY: NAYBAND BAY, IRAN. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
- Kakuta, S., Ariyasu, E., & Takeda, T. (2018). Shallow water bathymetry mapping using Hyperspectral data. IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium,
- Kasvi, E., Salmela, J., Lotsari, E., Kumpula, T., & Lane, S. (2019). Comparison of remote sensing based approaches for mapping bathymetry of shallow, clear water rivers. *Geomorphology*, 333, 180-197.
- Kay, S., Hedley, J. D., & Lavender, S. (2009). Sun glint correction of high and low spatial resolution images of aquatic scenes: a review of methods for visible and near-infrared wavelengths. *Remote sensing*, 1(4), 697-730.
- Kelly, J. T., & Gontz, A. M. (2018). Using GPS-surveyed intertidal zones to determine the validity of shorelines automatically mapped by Landsat water indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 65, 92-104.

- Kerr, J. M., & Purkis, S. (2018). An algorithm for optically-deriving water depth from multispectral imagery in coral reef landscapes in the absence of ground-truth data. *Remote Sensing of Environment*, 210, 307-324.
- Kotilainen, A. T., & Kaskela, A. M. (2017). Comparison of airborne LiDAR and shipboard acoustic data in complex shallow water environments: Filling in the white ribbon zone. *Marine Geology*, 385, 250-259.
- Kuleli, T., Guneroglu, A., Karsli, F., & Dihkan, M. (2011). Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Engineering*, 38(10), 1141-1149.
- Kumari, P., & Ramesh, H. (2020). Remote sensing image based nearshore bathymetry extraction of Mangaluru coast for planning coastal reservoir. In *Sustainable Water Resource Development Using Coastal Reservoirs* (pp. 247-265). Elsevier.
- Lee, Z., & Carder, K. L. (2001). Hyperspectral remote sensing of shallow water environments: a review. *Hyperspectral Remote Sensing of the Ocean*,
- Lee, Z., Carder, K. L., Mobley, C. D., Steward, R. G., & Patch, J. S. (1999). Hyperspectral remote sensing for shallow waters: 2. Deriving bottom depths and water properties by optimization. *Applied optics*, 38(18), 3831-3843.
- Li, J., Knapp, D. E., Schill, S. R., Roelfsema, C., Phinn, S., Silman, M., Mascaro, J., & Asner, G. P. (2019). Adaptive bathymetry estimation for shallow coastal waters using Planet Dove satellites. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111302.
- Li, W., & Gong, P. (2016). Continuous monitoring of coastline dynamics in western Florida with a 30-year time series of Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 179, 196-209.
- Li, Y., Gao, H., Jasinski, M. F., Zhang, S., & Stoll, J. D. (2019). Deriving high-resolution reservoir bathymetry from ICESat-2 prototype photon-counting lidar and landsat imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(10), 7883-7893.
- Liceaga-Correa, M., & Euan-Avila, J. (2002). Assessment of coral reef bathymetric mapping using visible Landsat Thematic Mapper data. *International journal of remote sensing*, 23(1), 3-14.
- Liew, S., Chang, C., & Kwoh, L. (2012). Sensitivity analysis in the retrieval of turbid coastal water bathymetry using Worldview-2 satellite data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 39, B7.
- Liu, P. L.-F., Yoon, S. B., & Kirby, J. T. (1985). Nonlinear refraction–diffraction of waves in shallow water. *Journal of Fluid Mechanics*, 153, 185-201.
- Lyons, M., Phinn, S., & Roelfsema, C. (2011). Integrating Quickbird multi-spectral satellite and field data: mapping bathymetry, seagrass cover, seagrass species and change in Moreton Bay, Australia in 2004 and 2007. *Remote Sensing*, 3(1), 42-64.
- Lyzenga, D. R. (1978). Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Applied optics*, 17(3), 379-383.

- Lyzenga, D. R. (1985). Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data. *International journal of remote sensing*, 6(1), 115-125.
- Lyzenga, D. R., Malinas, N. P., & Tanis, F. J. (2006). Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(8), 2251-2259.
- Ma, M., Wang, X., Veroustraete, F., & Dong, L. (2007). Change in area of Ebinur Lake during the 1998–2005 period. *International journal of remote sensing*, 28(24), 5523-5533.
- Manca, E., Pascucci, V., Deluca, M., Cossu, A., & Andreucci, S. (2013). Shoreline evolution related to coastal development of a managed beach in Alghero, Sardinia, Italy. *Ocean & coastal management*, 85, 65-76.
- Manessa, M. D. M., Haidar, M., Hartuti, M., & Kresnawati, D. K. (2018). Determination of the best methodology for bathymetry mapping using SPOT 6 imagery: A study of 12 empirical algorithms. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 14(2), 127-136.
- 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.
- McGill, M., Markus, T., Scott, V. S., & Neumann, T. (2013). The multiple altimeter beam experimental Lidar (MABEL): An airborne simulator for the ICESat-2 mission. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 30(2), 345-352.
- McKinna, L. I., Fearn, P. R., Weeks, S. J., Werdell, P. J., Reichstetter, M., Franz, B. A., Shea, D. M., & Feldman, G. C. (2015). A semianalytical ocean color inversion algorithm with explicit water column depth and substrate reflectance parameterization. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(3), 1741-1770.
- Mishra, D., Narumalani, S., Lawson, M., & Rundquist, D. (2004). Bathymetric mapping using IKONOS multispectral data. *GIScience & Remote Sensing*, 41(4), 301-321.
- Misra, A., Vojinovic, Z., Ramakrishnan, B., Luijendijk, A., & Ranasinghe, R. (2018). Shallow water bathymetry mapping using Support Vector Machine (SVM) technique and multispectral imagery. *International journal of remote sensing*, 39(13), 4431-4450.
- Mobley, C. D., & Mobley, C. D. (1994). *Light and water: radiative transfer in natural waters*. Academic press.
- Mouw, C. B., Greb, S., Aurin, D., DiGiacomo, P. M., Lee, Z., Twardowski, M., Binding, C., Hu, C., Ma, R., & Moore, T. (2015). Aquatic color radiometry remote sensing of coastal and inland waters: Challenges and recommendations for future satellite missions. *Remote Sensing of Environment*, 160, 15-30.
- Nagle, D. B., & Wright, C. W. (2016). *Algorithms used in the airborne lidar processing system (ALPS)*. US Department of the Interior, US Geological Survey.
- Natesan, U., Parthasarathy, A., Vishnunath, R., Kumar, G. E. J., & Ferrer, V. A. (2015). Monitoring longterm shoreline changes along Tamil Nadu, India using geospatial techniques. *Aquatic Procedia*, 4, 325-332.

- Olayinka, I. C., & Knudby, A. (2019). Satellite-derived bathymetry using a radiative transfer-based method: A comparison of different atmospheric correction methods. OCEANS 2019 MTS/IEEE SEATTLE,
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 9(1), 62-66.
- Ozturk, D., & Sesli, F. A. (2015). Shoreline change analysis of the Kizilirmak Lagoon Series. *Ocean & coastal management*, 118, 290-308.
- Pacheco, A., Horta, J., Loureiro, C., & Ferreira, Ó. (2015). Retrieval of nearshore bathymetry from Landsat 8 images: A tool for coastal monitoring in shallow waters. *Remote Sensing of Environment*, 159, 102-116.
- Pardo-Pascual, J. E., Almonacid-Caballer, J., Ruiz, L. A., & Palomar-Vázquez, J. (2012). Automatic extraction of shorelines from Landsat TM and ETM+ multi-temporal images with subpixel precision. *Remote Sensing of Environment*, 123, 1-11.
- Paredes, J. M., & Spero, R. E. (1983). Water depth mapping from passive remote sensing data under a generalized ratio assumption. *Applied optics*, 22(8), 1134-1135.
- Parrish, C. E., Magruder, L. A., Neuenschwander, A. L., Forfinski-Sarkozi, N., Alonzo, M., & Jasinski, M. (2019). Validation of ICESat-2 ATLAS bathymetry and analysis of ATLAS's bathymetric mapping performance. *Remote Sensing*, 11(14), 1634.
- Pe'Eri, S., & Philpot, W. (2007). Increasing the existence of very shallow-water LIDAR measurements using the red-channel waveforms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(5), 1217-1223.
- Pereira, P., Baptista, P., Cunha, T., Silva, P. A., Romão, S., & Lafon, V. (2019). Estimation of the nearshore bathymetry from high temporal resolution Sentinel-1A C-band SAR data-A case study. *Remote Sensing of Environment*, 223, 166-178.
- Pilkey, O. H., & Hume, T. (2001). The shoreline erosion problem: lessons from the past. *Water and Atmosphere*, 9(2), 22-23.
- Pillai, S. R., Oh, H., & Antoniou, A. (2000). A new estimation technique for high-resolution bathymetry. *Signal processing*, 80(5), 809-818.
- Pleskachevsky, A., Lehner, S., Heege, T., & Mott, C. (2011). Synergy and fusion of optical and synthetic aperture radar satellite data for underwater topography estimation in coastal areas. *Ocean Dynamics*, 61(12), 2099-2120.
- Polcyn, F. C., & Rollin, R. (1969). *Remote sensing techniques for the location and measurement of shallow-water features*.
- Poursanidis, D., Traganos, D., Reinartz, P., & Chrysoulakis, N. (2019). On the use of Sentinel-2 for coastal habitat mapping and satellite-derived bathymetry estimation using downscaled coastal aerosol band. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, 58-70.
- Powers, J., Brewer, S. K., Long, J. M., & Campbell, T. (2015). Evaluating the use of side-scan sonar for detecting freshwater mussel beds in turbid river environments. *Hydrobiologia*, 743(1), 127-137.

- Reitberger, J., Krzystek, P., & Stilla, U. (2008). Analysis of full waveform LIDAR data for the classification of deciduous and coniferous trees. *International journal of remote sensing*, 29(5), 1407-1431.
- Richter, K., Maas, H.-G., Westfeld, P., & Weiß, R. (2017). An approach to determining turbidity and correcting for signal attenuation in airborne lidar bathymetry. *PFG—Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 85(1), 31-40.
- Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., & Hazini, S. (2014). Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery. *Remote Sensing*, 6(5), 4173-4189.
- Romine, B. M., Fletcher, C. H., Frazer, L. N., Genz, A. S., Barbee, M. M., & Lim, S.-C. (2009). Historical shoreline change, southeast Oahu, Hawaii; applying polynomial models to calculate shoreline change rates. *Journal of coastal research*, 25(6 (256)), 1236-1253.
- Sagawa, T., Yamashita, Y., Okumura, T., & Yamanokuchi, T. (2019). Satellite derived bathymetry using machine learning and multi-temporal satellite images. *Remote Sensing*, 11(10), 1155.
- Sánchez-Carnero, N., Aceña, S., Rodríguez-Pérez, D., Couñago, E., Fraile, P., & Freire, J. (2012). Fast and low-cost method for VBES bathymetry generation in coastal areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 114, 175-182.
- Sánchez-García, E., Palomar-Vázquez, J., Pardo-Pascual, J., Almonacid-Caballer, J., Cabezas-Rabadán, C., & Gómez-Pujol, L. (2020). An efficient protocol for accurate and massive shoreline definition from mid-resolution satellite imagery. *Coastal Engineering*, 160, 103732.
- Schwarz, R., Mandlbürger, G., Pfennigbauer, M., & Pfeifer, N. (2019). Design and evaluation of a full-wave surface and bottom-detection algorithm for LiDAR bathymetry of very shallow waters. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 150, 1-10.
- Scott, D. B. (2005). Coastal changes, rapid. *Encyclopedia of coastal sciences*. Springer, The Netherlands, 253-255.
- Smith, B., Fricker, H. A., Holschuh, N., Gardner, A. S., Adusumilli, S., Brunt, K. M., Csatho, B., Harbeck, K., Huth, A., & Neumann, T. (2019). Land ice height-retrieval algorithm for NASA's ICESat-2 photon-counting laser altimeter. *Remote Sensing of Environment*, 233, 111352.
- Stockdon, H. F., & Holman, R. A. (2000). Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 105(C9), 22015-22033.
- Stumpf, R. P., Holderied, K., & Sinclair, M. (2003). Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types. *Limnology and Oceanography*, 48(1part2), 547-556.
- Su, H., Liu, H., & Heyman, W. D. (2008). Automated derivation of bathymetric information from multi-spectral satellite imagery using a non-linear inversion model. *Marine Geodesy*, 31(4), 281-298.

- Tamminga, A., Hugenholtz, C., Eaton, B., & Lapointe, M. (2015). Hyperspatial remote sensing of channel reach morphology and hydraulic fish habitat using an unmanned aerial vehicle (UAV): A first assessment in the context of river research and management. *River Research and Applications*, 31(3), 379-391
- Tortell, P. (1992). Coastal zone sensitivity mapping and its role in marine environmental management. *Marine Pollution Bulletin*, 25(1-4), 88-93.
- Trebossen, H., Deffontaines, B., Classeau, N., Kouame, J., & Rudant, J.-P. (2005). Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(13), 1140-1153.
- Tripathi, N., & Rao, A. (2002). Bathymetric mapping in Kakinada Bay, India, using IRS-1D LISS-III data. *International journal of remote sensing*, 23(6), 1013-1025.
- Wackerman, C., Lyzenga, D., Ericson, E., & Walker, D. (1998). Estimating near-shore bathymetry using SAR. IGARSS'98. Sensing and Managing the Environment. 1998 IEEE International Geoscience and Remote Sensing. Symposium Proceedings.(Cat. No. 98CH36174),
- Wang, C., Li, Q., Liu, Y., Wu, G., Liu, P., & Ding, X. (2015). A comparison of waveform processing algorithms for single-wavelength LiDAR bathymetry. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 101, 22-35.
- Wang, Y., & Pan, Z. (2017). Image contrast enhancement using adjacent-blocks-based modification for local histogram equalization. *Infrared Physics & Technology*, 86, 59-65.
- Warne, D. (1978). Landsat as an aid in the preparation of hydrographic charts. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 44(8), 1011-1016.
- Werdell, P. J., McKinna, L. I., Boss, E., Ackleson, S. G., Craig, S. E., Gregg, W. W., Lee, Z., Maritorena, S., Roesler, C. S., & Rousseaux, C. S. (2018). An overview of approaches and challenges for retrieving marine inherent optical properties from ocean color remote sensing. *Progress in oceanography*, 160, 186-212.
- Wong, E. W., Wong, J. M., & chin Liew, S. (2018). Operational Derivation of Water Quality, Water Depth and Sea Bottom Type from Remote Sensing Satellite Data. IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium,
- Wu, J., Van Aardt, J., & Asner, G. P. (2011). A comparison of signal deconvolution algorithms based on small-footprint LiDAR waveform simulation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(6), 2402-2414.
- Xu, N. (2018). Detecting coastline change with all available Landsat data over 1986–2015: A case study for the state of Texas, USA. *Atmosphere*, 9(3), 107.
- Yang, B., Hwang, C., & Cordell, H. K. (2012). Use of LiDAR shoreline extraction for analyzing revetment rock beach protection: A case study of Jekyll Island State Park, USA. *Ocean & coastal management*, 69, 1-15.
- You, X., & Li, W. (2011). A sea-land segmentation scheme based on statistical model of sea. 2011 4th International Congress on Image and Signal Processing,

- Yunus, A. P., Dou, J., Song, X., & Avtar, R. (2019). Improved bathymetric mapping of coastal and lake environments using Sentinel-2 and Landsat-8 images. *Sensors*, *19*(12), 2788.
- Zhang, W., Xu, N., Ma, Y., Yang, B., Zhang, Z., Wang, X. H., & Li, S. (2021). A maximum bathymetric depth model to simulate satellite photon-counting lidar performance. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, *174*, 182-197.
- Zhao, X., Zhao, J., Zhang, H., & Zhou, F. (2018). Remote sensing of suspended sediment concentrations based on the waveform decomposition of airborne LiDAR bathymetry. *Remote Sensing*, *10*(2), 247.

## ÖZGEÇMİŞ

**Hakan UZAKARA**  
**hakanuzakara@gmail.com**



## ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2019-2021	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya
Lisans 2015-2019	Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya

## ESERLER

### Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Uzakara H. ve Demir N. (2020). Bathymetry Analysis with Use of Sentinel 2 Images. 1. Intercontinental Geoinformation Days symposium, pp. 21-24, 25-26 November 2020 / Mersin, Turkey. (Bildiri / Sözlü Sunum)
- 2- Uzakara, H , Demir, N . (2021). Bathymetry analysis with use of Sentinel-2 images . Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi , 3 (1) , 14-20.