

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR
VERME YÖNTEMLERİ İLE DENİZ ÇAYIRI
HABİTATLARININ BELİRLENME OLANAKLARININ
ARAŞTIRILMASI

Tolga BAKIRMAN

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Uzaktan Algılama ve CBS Programı

Danışman

Doç. Dr. Mustafa Ümit GÜMÜŞAY

Eş Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İnci TÜNEY KIZILKAYA

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UZAKTAN ALGILAMA VE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME
YÖNTEMLERİ İLE DENİZ ÇAYIRI HABİTATLARININ BELİRLENME
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Tolga BAKIRMAN tarafından hazırlanan tez çalışması 11.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Uzaktan Algılama ve CBS Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mustafa Ümit GÜMÜŞAY

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İnci TÜNEY KIZILKAYA

Ege Üniversitesi

Eş Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mustafa Ümit GÜMÜŞAY, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Şinasi KAYA, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent BAYRAM, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Mustafa Ümit GÜMÜŞAY sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Uzaktan Algılama ve Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Deniz Çayırı Habitatlarının Belirlenme Olanaklarının Araştırılması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Tolga BAKIRMAN

İmza



Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2015-05-03-KAP01 ve 2015-05-03-YL05, TÜBİTAK 1059B141601481 numaralı projeleri ve İstanbul Teknik Üniversitesi UHUZAM ile desteklenmiştir.



Aileme
ve
biricik eşime

TEŞEKKÜR

Akademik hayata adım atmama vesile olan, lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca gerek bilimsel gelişimim gerekse manevi açıdan desteğini üzerimden esirgemeyen kıymetli danışman hocam Doç. Dr. M. Ümit GÜMÜŞAY'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu konuyu çalışmamda bana cesaret veren ve her zaman bilgisinden yararlandığım eş danışmanım Dr. Öğr. Üy. İnci TÜNEY KIZILKAYA'YA teşekkür ederim.

Tez izleme komitemde yer almayı kabul ederek, değerli fikirleri ile çalışmama yön veren ve her daim desteğini üzerimde hissettiğim Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL'e ve diğer saygıdeğer komite üyeleri hocalarım Prof. Dr. Nebiye Musaoğlu ve Prof. Dr. Şinasi KAYA'ya yapıcı eleştirileri ve katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Beraber çalışmaktan onur duyduğum ve akademik gelişimimde yeni ufuklar açan Prof. Dr. Bülent BAYRAM'a, özverili yaklaşımıyla çalışmanın gerçekleşmesinde büyük payı olan Dr. Nedim Onur AYKUT'a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Sunduğu katkılardan dolayı TÜBİTAK'a, Yıldız Teknik Üniversitesi BAP birimine ve İstanbul Teknik Üniversitesi UHUZAM'a teşekkür ederim.

Verilerin toplanmasında ve işlenmesinde katkı sunan Ahmet ÜNLÜ nezdinde tüm DenAr çalışanlarına, çalışma alanındaki desteklerinden dolayı Zafer KIZILKAYA başta olmak üzere Akdeniz Koruma Derneği üyelerine, verilerin yorumlanmasında tecrübelerinden faydalandığım Doç. Dr. Tolga GÖRÜM'e, çalışmaya olan yardımlarından dolayı Fırat ERDEM ve Nuran ASLANTAŞ'a, başta anabilim dalı hocalarım ve arkadaşlarım olmak üzere tüm Harita Mühendisliği Bölümü öğretim elemanları ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, yurtdışı doktora araştırmalarım sırasında sağladıkları katkılardan dolayı HafenCity Üniversitesi öğretim üyeleri Prof. Dr. Karl Peter TRAUB ve Tanja DUFEK'e teşekkür ederim.

Bana olan inancını hiçbir zaman kaybetmeyen, bu çalışmanın gerçekleşmesinde en az benim kadar emeği olan, moral ve motivasyon kaynağım biricik eşime ve varlıkları ile beni her zaman güçlü ve mutlu kılan sevgili aileme şükranlarımı sunarım.

Tolga BAKIRMAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	IX
KISALTIMA LİSTESİ	XII
ŞEKİL LİSTESİ	XV
TABLO LİSTESİ	XVIII
ÖZET	XIX
ABSTRACT	XXI
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti.....	3
1.2 Tezin Amacı.....	14
1.3 Hipotez.....	15
2 Genel Bilgiler	17
2.1 Akustik Sistemler.....	17
2.2 Optik Sistemler.....	22
2.2.1 Uydu Görüntülerinden Derinlik Kestirimi.....	23
2.2.1.1 Lyzenga, 1978 Modeli.....	24
2.2.1.2 Philpot, 1989 Modeli.....	25
2.2.1.3 Stumpf, 2003 Modeli.....	28
2.2.1.4 Lyzenga, 2006 Modeli.....	29
2.2.2 Uydu Görüntülerinden Bentik Habitat Haritalama.....	31
2.2.2.1 Atmosferik Düzeltme.....	32
2.2.2.2 Güneş Parıltısı Giderme.....	34
2.2.2.3 Su Kolonu Düzeltmesi.....	35

2.2.2.4	Sınıflandırma.....	36
2.2.2.4.1	Rastgele Orman.....	37
2.2.2.4.2	Destek Vektör Makineleri.....	38
2.3	Çok Ölçütlü Karar Verme.....	41
3	Bentik Habitat Haritalama	47
3.1	Metodoloji.....	47
3.2	Çalışma Alanı.....	48
3.3	Veriler.....	49
3.3.1	Akustik Veriler.....	50
3.3.2	Optik Veriler.....	58
3.3.2.1	Güllük Körfezi.....	58
3.3.2.2	Gökova Körfezi.....	60
3.3.3	Yer Gerçeklik Verileri.....	65
3.4	Ölçütler.....	67
3.4.1	Ölçüt Katmanlarının Hazırlanması.....	67
3.4.2	Ölçütlerin Normalleştirilmesi.....	78
3.4.3	Ölçütlerin Ağırlıklandırılması.....	79
3.5	CBS-ÇÖKV Analizi.....	80
3.6	Gökova Örneği.....	82
4	Bulgular ve Tartışma	86
5	Sonuç ve Öneriler	105
A	Derinlikten Bağımsız İndeksler MATLAB Kodları	111
B	Rastgele Orman: Örnek Karar Ağaçları	113
C	Hipsometrik Eğriler	115
D	İkili Karşılaştırma Formu	117
E	Ek Grafikler	118

Kaynakça

120

Tezden Üretilmiş Yayınlar

133



SİMGE LİSTESİ

a	Rastgele Katsayı Vektörü
a	Derinliğe Bağlı Olmayan Belirsizlik (3.1)
a_0	Sabit
A	Atmosferik ve Geometrik Koşullara Bağlı Katsayı
A	Karşılaştırma Matrisi
A_{norm}	Normalleştirilmiş Karşılaştırma Matrisi
A_d	Dip Albedosu
a_i	Sabit
a_j	Sabit
A_L	Radyans Toplamsal Ölçek Faktörünü
B	Atmosferik ve Geometrik Koşullara Bağlı Katsayı
b	Derinliğe Bağlı Belirsizlik (3.1)
b	Bias Değeri
b_i	Regresyon Eğimi (i bandı)
BS	Saçılma Gücü (Backscattering Strength)
C	Düzenleme (Ceza) Parametresi
CI	Tutarlılık Göstergesi
CR	Tutarlılık Oranı
d	Derinlik (3.1)
d	Polinom Derecesi
DI	Yöneltme Yeteneği (Directivity Index)
DT	Tespit Eşiği (Detection Threshold)
EE	Yankı Fazlası (Echo Excess)
E_i	Suya Giren İradyans
g	Suya Giren-Çıkan Işığın Zayıflama Katsayı Fonksiyonu
K	Işığın Sudaki Zayıflama Katsayısı
kHz	Kilohertz
K_i	i Bandının Sudaki Emilim Miktarı
K_j	j Bandının Sudaki Emilim Miktarı
$K(x_i, x_j)$	Çekirdek Fonksiyonu
L	Tarama Genişliği

L_a	Atmosferden Saçılan Radyans
L_b	Dip Reflektansı
L_d	Algılayıcı Radyansı
L_i	Bant Radyansı
L_p	Lagrange Fonksiyonu
L_{si}	Bandın Derin Su Radyansı
L_w	Optik Derin Radyansı
L_-	Sudan Çıkan Radyans
L_λ	Yüzey Reflektansı
m_1	Ayarlanabilir Sabit
m_0	Ofset Değeri
M_L	Radyans Çarpımsal Ölçek Faktörü
Min_{NIR}	Komşuların Kızılötesi Bandı Piksel Değeri
NL	Gürültü Seviyesi (Noise Level)
ρ	Yüzey Reflektansı
ρ_e	Pikselin ve Komşuların Ortalama Yüzey Reflektansı
pt	Noktadaki Yükseklik
Q_{cal}	Dijital Sayı
r_b	Dip Reflektansı
RI	Rastgele Gösterge
R_i	Güneş Parıltılı Piksel
R_i'	Güneş Parıltısı Düzeltilmiş Piksel
R_{NIR}	Kızılötesi Bandı Piksel Değeri
R_w	Optik Derinde Su Kolonu Reflektansı
r_v	Su Kolonundaki Saçılma
S	Atmosfer Albedosu
S_i	Normalleştirilmiş Değer (i Ölçütü)
SL	Kaynak Seviyesi (Source Level)
TL	İletim Kaybı (Transmission Loss)
w	Ağırlık Vektörü
W_i	Ağırlık Değeri (i Ölçütü)
X_i	Yüzey Reflektansı (i Bandı)
X_j	Yüzey Reflektansı (j Bandı)
Y_{ij}	i ve j Bandı Oranı ile Bağımsız İndeks
Y_{ik}	i ve k Bandı Oranı ile Bağımsız İndeks

Υ_{jk}	j ve k Bandı Oranı ile Bağımsız İndeks
z	Derinlik
α	Zayıflama Katsayısı
θ_M	Maksimum Bim Açısı
θ_T	İze Dik Açısı
ϕ	İze Boy Açısı
ϕ	Yüksek Boyutlu Uzaya Taşıma İşlemi
Ω	Konik Yüzeyin Kapladığı Bölge
σ_{ii}	i Bandı Reflektans Değerleri Varyansı
σ_{jj}	j Bandı Reflektans Değerleri Varyansı
σ_{ij}	i Bandı ile j Bandındaki Reflektans Değerlerinin Kovaryansı
γ	Gamma Parametresi
λ	Temel Değer
μ	Nokta Çevresindeki Ortalama Yükseklik

KISALTMA LİSTESİ

ABS	Amerika Birleşik Devletleri Standardı
AHP	Analytical Hierarchy Process
ALI	Advanced Land Imager
ANUDEM	Australian National University Digital Elevation Model
BIL	Band Interleaved by Line
CART	Classification and Regression Tree
CASI-2	Compact Airborne Spectrographic Imager
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CORS-TR	Continuously Operating Reference Stations Türkiye
CRUISE	Classification Rule with Unbiased Interaction Selection, Estimation
CTD	Conductivity Temperature Depth
ÇBİ	Çok Bimli İskandil
ÇÖKV	Çok Ölçütlü Karar Verme
DII	Depth Invariant Index
DN	Digital Numbers
DVM	Destek Vektör Makineleri
EBD-DÖD	En Büyük Değere göre Doğrusal Ölçek Dönüşümü
EBEKD-DÖD	En Büyük ve En Küçük Değere Göre Doğrusal Ölçek Dönüşümü
ELECTRE	Elimination and Choice Translating Reality
EO-1	Earth Observing-1
ETM+	Enhanced Thematic Mapper
EUNIS	European Nature Information System
FLAASH	Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes
HYP	Hyperion
IHO	International Hydrography Organization
GAMS	GPS Azimuth Measurement Subsystem
GIS	Geographic Information System
GGA	Global Positioning System Fix Data
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
GSA	Satellite Status
GST	Global Positioning System Pseudo Range Noise Statistics

GSV	Satellites in View
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
KAK	Kutup Altı Kış
KAY	Kutup Altı Yaz
LAT	Lowest Astronomical Tide
LiDAR	Light Detection and Ranging
MAREANO	Marine Area database for Norwegian waters
MAXENT	Maximum Entropy Distribution Modelling
MBES	Multibeam Echo Sounder
MODTRAN	Moderate Resolution Atmospheric Transmission
MSS	Multispectral Scanner
NDWI	Normalized Difference Water Index
NMEA	National Marine Electronics Association
OEK	Orta Enlem Kış
OEY	Orta Enlem Yaz
OLI	Operational Land Imager
Ö1	Ölçüt 1 (Derinlik)
Ö2	Ölçüt 2 (Çökel Paketleri)
Ö3	Ölçüt 3 (Eğim)
Ö4	Ölçüt 4 (Dalga Korunaklı Alan)
Ö5	Ölçüt 5 (Topographic Position Index)
PHILLS	Portable Hyperspectral Imager for Low-Light Spectroscopy
PPS	Pulse per Second
ppt	Parts per Thousand
PSU	Practical Salinity Unit
QTC	Quester Tangent Corporation
QUEST	Quick Unbiased Efficient Statistical Tree
RO	Rastgele Orman
RTK	Gerçek Zamanlı Kinematik
SAGA	System for Automated Geoscientific Analysis
SBES	Single Beam Echo Sounder
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SSS	Side Scan Sonar
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli

T	Tropik
TM	Thematic Mapper
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TPI	Topographic Position Index
TVU	Total Vertical Uncertainty
USGS	United States Geological Survey
WSW	West Southwest
YTS	Yandan Taramali Sonar



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	P.oceanica – deniz çayırları.....	2
Şekil 1.2	Uluslararası Doğayı Koruma Birliği Kırmızı Listesine göre Posidonia oceanica tahmini yayılım haritası.....	2
Şekil 1.3	Bentik habitat haritalama süreci genel adımları.....	4
Şekil 1.4	Bentik habitat haritalamada kullanılan veri setleri.....	5
Şekil 2.1	Çok bimli iskandil geometrisi, Bim geometrisi.....	18
Şekil 2.2	Ses dalgası geometrisi.....	18
Şekil 2.3	Ses dalgası frekansı ve menzil ilişkisi.....	19
Şekil 2.4	Ses dalgasının yüzeyden yansıma geometrisi, Yansıma parametreleri...	19
Şekil 2.5	Sonar eşitliği oluşturan dip algılama süreci.....	20
Şekil 2.6	Bimlerin dip algılama noktaları.....	22
Şekil 2.7	Uzaktan algılamanın bileşenleri.....	22
Şekil 2.8	Gelen ve saçılan enerjiye etki eden atmosferik faktörler.....	24
Şekil 2.9	Kum, çamur, bitki dip tiplerinde önerilen yöntem ve oran yönteminin toplam derinlik hataları grafiği.....	26
Şekil 2.10	Farklı zayıflama katsayılarına göre maksimum algılanabilen derinlik değerleri grafiği.....	27
Şekil 2.11	Mavi ve yeşil bantların derinlik ve dip türüne göre logaritmik emilim oranları grafiği.....	28
Şekil 2.12	Normalleştirilmiş karesel ortalama hatalarının yöntemle göre dağılım grafiği.....	30
Şekil 2.13	Sekiz çalışma alanından birine ait kestirilmiş ve gerçek derinlikler.....	31
Şekil 2.14	Bentik çalışmalarda kullanılan optik uydu görüntülerine uygulanması gereken ön işleme adımları.....	32
Şekil 2.15	Güneş parıltısı giderme metodunun grafiksel gösterimi.....	35
Şekil 2.16	Karar ağacı birimleri ve hiyerarşisi.....	37
Şekil 2.17	Doğrusal olmayan DVM.....	39
Şekil 3.1	Genel iş akışı.....	47
Şekil 3.2	Çalışma alanları.....	49
Şekil 3.3	Çalışmada kullanılan veriler.....	50
Şekil 3.4	Ölçüm teknesi ve kurulum mimarisi.....	51
Şekil 3.5	Tekneye konumlandırma ve iskandil sistemlerinin kurulumu.....	52
Şekil 3.6	Ham verilerde özellikle dış bimlerde gözlemlenen gürültüler.....	54
Şekil 3.7	Gürültülerden temizlenmiş bölge.....	55
Şekil 3.8	Güllük çalışma alanına ait elde edilen batimetri.....	55

Şekil 3.9	Batimetri standart sapma değerleri.....	57
Şekil 3.10	Veri işleme sonrası batimetri standart sapma değerleri.....	57
Şekil 3.11	Oran dönüşüm modeli ile elde edilen normalize karşılıklı derinlikler..	59
Şekil 3.12	Oran dönüşüm modeli ile derinlik kestirim hataları dağılım grafiği.....	59
Şekil 3.13	Güllük Körfezi'ndeki çalışma alanına ait bütünleşik derinlik haritası...	60
Şekil 3.14	Gökova Körfezi uydu görüntüsünden elde edilen normalize karşılıklı derinlikler.....	61
Şekil 3.15	Gökova Körfezi mutlak derinlikler.....	62
Şekil 3.16	Atmosfer düzeltmesi sonucu elde edilen yüzey reflektansı, Lyzenga 1981 yöntemine oluşturulan derinlikten bağımsız indeksler.....	64
Şekil 3.17	Çalışma alanına yerleşim alanlarından dökülen dere ve kanallar.....	64
Şekil 3.18	RO yöntemi ile deniz çayırı sınıflandırma sonucu.....	65
Şekil 3.19	DVM ile deniz çayırı sınıflandırma sonucu.....	66
Şekil 3.20	Gökova körfezindeki dalış ile gözlemlenen deniz çayırları.....	66
Şekil 3.21	Ölçüt katmanlarının hazırlanış şeması ve veri kaynakları.....	67
Şekil 3.22	Güllük Körfezi bütünleşik harita.....	68
Şekil 3.23	Sırt ve vadi durumu, Sabit eğim ya da düzlük durumu.....	69
Şekil 3.24	Eğim konumları: düşük ölçek, büyük ölçek.....	70
Şekil 3.25	TPI ile yeryüzü şekillerinin sınıflandırma sonucu.....	71
Şekil 3.26	Deniz çayırlarının TPI yeryüzü şekil sınıfları üzerindeki dağılımları.....	71
Şekil 3.27	Deniz çayırlarının derinliğe göre yayılım frekansı.....	72
Şekil 3.28	Kıyı eğimine bağlı olarak dalga kırılma bölgeleri.....	73
Şekil 3.29	Eğim haritası.....	73
Şekil 3.30	Deniz çayırlarının eğime göre yayılım frekansı.....	74
Şekil 3.31	Dalga korunaklı alanlar.....	75
Şekil 3.32	1 numaralı akarsuya ait hipsometrik eğri.....	76
Şekil 3.33	Çökel paketleri.....	77
Şekil 3.34	Güllük Körfezi deniz çayırı habitatına uygunluk haritası.....	81
Şekil 3.35	Gökova Körfezi çalışma alanı.....	82
Şekil 3.36	Gökova için ölçüt katmanlarının hazırlanması ve veri kaynakları.....	83
Şekil 3.37	Gökova Körfezi deniz çayırı habitatına uygunluk haritası.....	84
Şekil 4.1	Derinliğe göre deniz çayırı habitat uygunluğu değerleri dağılımı.....	88
Şekil 4.2	Dalga korunaklı alanlara göre deniz çayırı habitat uygunluğu değerleri dağılımı.....	89
Şekil 4.3	Derinliğe göre deniz çayırı habitat uygunluğu değerleri dağılımı.....	90

Şekil 4.4	Çökel paketlerine göre deniz çayırı habitat uygunluğu değerleri dağılımı.....	90
Şekil 4.5	TPI'e göre deniz çayırı habitat uygunluğu değerleri dağılımı.....	91
Şekil 4.6	Çalışma alanlarında modele göre elde edilen habitat uygunluğu değerleri.....	92
Şekil 4.7	Gökova Körfezi: derinliğe göre deniz çayırı habitat uygunluğu değerleri dağılımı.....	93
Şekil 4.8	Gökova Körfezi: dalga korunaklı alana göre deniz çayırı habitat uygunluğu değerleri dağılımı.....	94
Şekil 4.9	Gökova Körfezi: eğime göre deniz çayırı habitat uygunluğu değerleri dağılımı.....	95
Şekil 4.10	Gökova Körfezi: derinlik – eğim ilişkisi.....	95
Şekil 4.11	Gökova Körfezi: çökel paketlerine göre deniz çayırı habitat uygunluğu değerleri dağılımı.....	96
Şekil 4.12	Gökova Körfezi: TPI'e göre deniz çayırı habitat uygunluğu değerleri dağılımı.....	97
Şekil 4.13	Gökova Körfezi alt bölgeler.....	98
Şekil 4.14	Gökova Körfezi kuzey kıyı şeridi model, RO ve DVM sonuçları.....	99
Şekil 4.15	Gökova Körfezi kuzey kıyı şeridi sınıflandırma - model ilişkisi grafiği.....	99
Şekil 4.16	Gökova Körfezi güney kıyı şeridi model, RO ve DVM sonuçları.....	100
Şekil 4.17	Gökova Körfezi güney kıyı şeridi sınıflandırma - model ilişkisi grafiği.....	101
Şekil 4.18	Gökova Körfezi ada bölgesi sınıflandırma - model ilişkisi grafiği.....	101
Şekil 4.19	Gökova Körfezi ada bölgesi model, RO ve DVM sonuçları.....	102
Şekil 4.20	Gökova Körfezi burun bölgesi model, RO ve DVM sonuçları.....	103
Şekil 4.21	Gökova Körfezi burun bölgesi sınıflandırma - model ilişkisi grafiği.....	104
Şekil 4.22	Gökova Körfezi sınıflandırma - model ilişkisi grafiği.....	104

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	MODTRAN atmosferik modellerinin su buharı ve yüzey hava sıcaklıkları.....	33
Tablo 2.2	Enlem ve mevsime göre uygun MODTRAN atmosferik modelleri.....	33
Tablo 2.3	DVM’de kullanılan çekirdek modelleri.....	41
Tablo 2.4	AHP ikili karşılaştırma ölçeği.....	42
Tablo 2.5	Ölçüt sayısına göre rastgele gösterge.....	44
Tablo 3.1	Ölçüm cihazlarının teknik özellikleri.....	51
Tablo 3.2	Örnek CTD verileri.....	53
Tablo 3.3	SPOT 7 uydusu teknik özellikleri.....	58
Tablo 3.4	WorldView-2 uydusu teknik özellikleri.....	61
Tablo 3.5	Akarsuların hesaplanan hipsometrik integral değerleri.....	76
Tablo 3.6	Uzman görüşüne göre ölçütlerin frekans ve puanlama değerleri.....	78
Tablo 3.7	A matrisi.....	79
Tablo 3.8	A_{norm} matrisi.....	79
Tablo 3.9	W matrisi.....	80
Tablo 3.10	Güllük Körfezi çalışma alanının deniz çayırı habitat uygunluğuna göre dağılım değerleri.....	81
Tablo 3.11	Gökova Körfezi çalışma alanının deniz çayırı habitat uygunluğuna göre dağılım değerleri.....	85
Tablo 4.1	İki çalışma alanının sonuç değerlerinin istatistiksel bilgileri.....	93

Uzaktan Algılama ve Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Deniz Çayırı Habitatlarının Belirlenme Olanaklarının Araştırılması

Tolga BAKIRMAN

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Ümit GÜMÜŞAY

Eş-Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İnci TÜNEY KIZILKAYA

Deniz çayırı sualtı ekosisteminde fiziksel, kimyasal ve biyolojik çevreyi etkileyen ve balık omurgasız canlılar için habitat sağlayan önemli bir canlıdır. İnsan aktiviteleri sebebiyle bu canlılar tehdit altındadır ve bu baskı istikrarsız sualtı habitatlarına neden olmaktadır. Deniz çayırlarının kaybını önleyebilmek için bu bitkiye uygun habitatlar ve mevcut durum haritalanmalı ve gözlemlenmelidir. Akustik teknolojisinin gelişmesiyle deniz tabanından yüksek çözünürlük ve hassasiyet ile veri toplamak mümkün hale gelmiştir. Bununla birlikte, kapsama alanı geniş ve düşük maliyetli optik uydu görüntüleri de farklı amaçlar doğrultusunda denizaltı çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında, Coğrafi Bilgi Sistemleri Çok Ölçütlü Karar Verme ve uzaktan algılama teknikleri uygulanarak akustik veriler ile Güllük Körfezi'nde deniz çayırlarına uygun habitatların belirlenmesi için bir model geliştirilmiştir. Modelde kullanılan derinlik, dalga korunaklı alan, eğim, çökel paketleri ve topoğrafik konum endeksi ölçütleri Analitik Hiyerarşi Prosesi yöntemi

ile ağırlıklandırılmıştır. Model Güllük Körfezi'nde deniz çayırına uygun habitatları %76 doğruluk ile tespit etmiştir. Geliştirilen model, optik uydu görüntüsünden farklı bantların sudaki emilim oranına dayalı bir yöntem ile derinlikler elde edilerek Gökova Körfezi'nde uygulanmıştır. Gökova Körfezi'nde aynı zamanda Destek Vektör Makineleri ve Rastgele Orman makine öğrenme sınıflandırma teknikleri uygulanarak, mevcut deniz çayırı yayılım haritası oluşturulmuştur. %89 doğruluk ile Rastgele Orman yöntemi deniz çayırı sınıflandırmada başarılı olmuştur. Sınıflandırma ve model çıktıları incelediğinde, sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada önerilen model ve yöntem sayesinde deniz çayırı haritalarının hızlı, düşük maliyetli ve sürdürülebilir şekilde üretilmesi mümkün olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deniz çayırı, uzaktan algılama, çok ölçütlü karar verme, sınıflandırma

Investigation of Seagrass Habitat Determination Possibilities using Remote Sensing and Multi Criteria Decision Analysis

Tolga BAKIRMAN

Department of Geomatics Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Mustafa Ümit GÜMÜŞAY

Co-advisor: Assist. Prof. İnci TÜNEY KIZILKAYA

Seagrass meadows are essential plants of marine ecosystems as they affect the physical, chemical and biological environment and provide habitats for fish and invertebrates. Human activities have caused a deterioration in seagrass which has led to unstable benthic habitats. Therefore, to prevent major decline, suitable habitats for seagrass and its distribution must be mapped and monitored. Recent technology allows acoustic systems to collect high resolution and accurate data about seafloor. Additionally, optical satellite images which are cost-effective and provide wide coverage have been used in various benthic studies. In this thesis, a model has been developed using acoustic data to identify suitable habitat for seagrass in Gulluk Gulf by applying GIS-MCDA and remote sensing techniques. Criteria namely as depth, wave protected area, slope, sediment package and TPI have been weighted using AHP method. Model has been able to identify suitable habitats for seagrass with 76% accuracy. Developed model has been applied to Gokova Gulf using depths derived from a method that based on absorption ratio in water of different bands. Additionally, seagrass coverage maps have been created

using Support Vector Machines and Random Forest machine learning techniques. Random Forest have produced a successful classification result with 89% accuracy. Investigation of outputs of classification and model have showed that results are compatible with each other. The proposed model and method in the study provide fast, temporal, cost-effective and sustainable production of seagrass maps.

Keywords: Seagrass, remote sensing, multi criteria decision analysis, classification



Denizaltı habitatu (Bentik habitat), su kütlesinin altında bulunan, hayvanlar, bitkiler veya diğer organizmaların içinde yaşadığı ekolojik alan olarak tanımlanmaktadır. Denizaltı habitat haritalama ise, komşu habitatları ayıran belirgin sınırları gösteren, habitatların dağılımını ve boyutlarının çizildiği deniz tabanını kaplayan bir haritanın yaratılması veya konumsal sürekli ekolojik veri setleri kullanılarak, deniz tabanındaki biyolojik desenlerin gösterilmesi ve tahmini olarak tanımlanmaktadır.

Günümüzde uzaktan algılama teknolojisi kullanılarak dünya üzerindeki objelerin algılanması ve sınıflandırılması ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Deniz tabanı ve objeleri su ile kaplı olması sebebiyle, dünya yüzeyi gibi doğrudan gözlenememektedir.

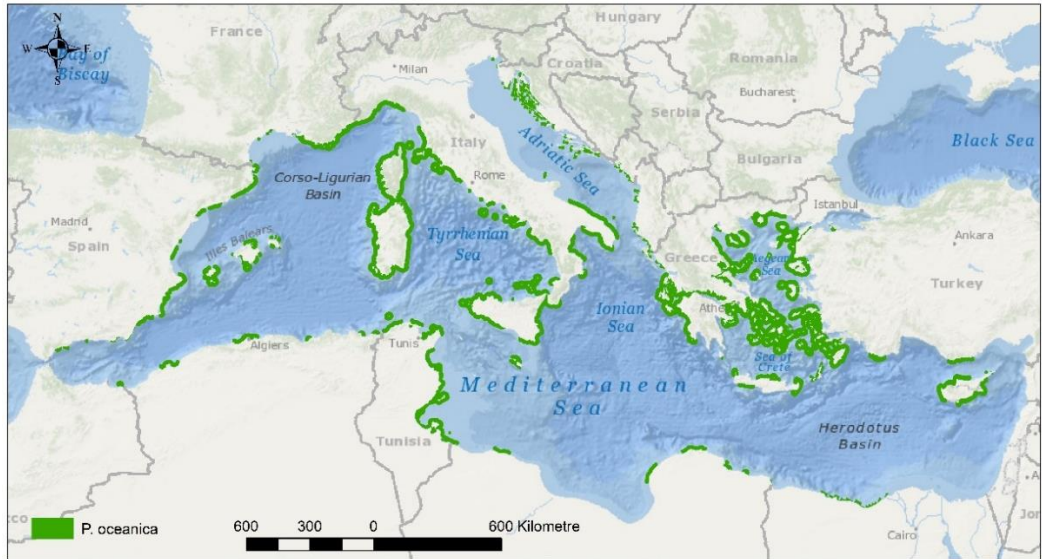
Akustik ve sonar teknolojisinin gelişmesiyle, deniz tabanından yüksek hassasiyetle veri toplamak mümkün olmuştur. Çok bimli iskandil sistemleri, deniz tabanı topografyasını ölçmekle kalmayıp aynı zamanda gerisaçılım yoğunluğu bilgisi de toplamaktadır. Çok bimli iskandil ile elde edilen yüksek geometrik hassasiyete sahip bütünselik veriler, deniz tabanı araştırmaları için ideal bir kaynak oluşturmaktadır. Geniş alanları kapsayan ve maliyet açısından avantajlı olan yüksek, orta ve düşük geometrik çözünürlüğe sahip optik uydu görüntüleri de farklı amaçlar doğrultusunda denizaltı çalışmalarında kullanılmaktadır.

Balıkçılık, madencilik, kirlilik ve diğer insan aktiviteleri deniz yatağı ekosistemine ciddi zarar vermekte ve bentik biyoçeşitliliği azaltmaktadır. Çalışmalara göre, dünyadaki deniz tabanının sadece %5-%10'i haritalanmıştır [1]. Bu nedenle, kaynakların etkili bir biçimde yönetimi ve ekolojik olarak önemli alanların korunması mümkün olmamaktadır. Kaynak yönetimi ve koruma alanlarının belirlenebilmesi için denizaltı ekosistemlerinin haritalanması gereklilik arz etmektedir.

Akdeniz'e özgü endemik bir deniz çayı olan *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, denizaltı yaşamına uyum sağlamış bir bitkidir (Şekil 1.1). Bu bitki, Akdeniz ekosistemini koruyan, kıyı erozyonunu önleyen ve hem denizde hem de atmosferde karbondioksit emilimini düzenleyen önemli bir endemik canlıdır (Şekil 1.2). Deniz çayırları başta larva ve yavru balıklar olmak üzere, birçok balık ve omurgasız türlerine yiyecek ve habitat görevi görmektedir.



Şekil 1.1 *Posidonia oceanica* – deniz çayırları [2]



Şekil 1.2 Uluslararası Doğayı Koruma Birliği Kırmızı Listesine göre *Posidonia oceanica* tahmini yayılım haritası [3]

Deniz yapıları, kıyı suları kirliliği, gemi demirleme, iklim değişikliği ve dış etkenlerden dolayı deniz suyunun ısınması, bu bitkiler için tehdit oluşturan ana etmenlerdir. Aşırı balıkçılık, kirlilik gibi insan aktivitelerinden etkilendiği ve çok yavaş ilerleyen bir yenilenme sürecine sahip olduğu için, Akdeniz’de bu çayırlar yok olmaya başlamıştır. Bu nedenle bu bitki, Barselona Konvansiyonu’nda yapılan anlaşmalarla birlikte, uluslararası düzeyde nesli tehlikede olan bitki sınıfına dâhil edilerek koruma altına alınmıştır.

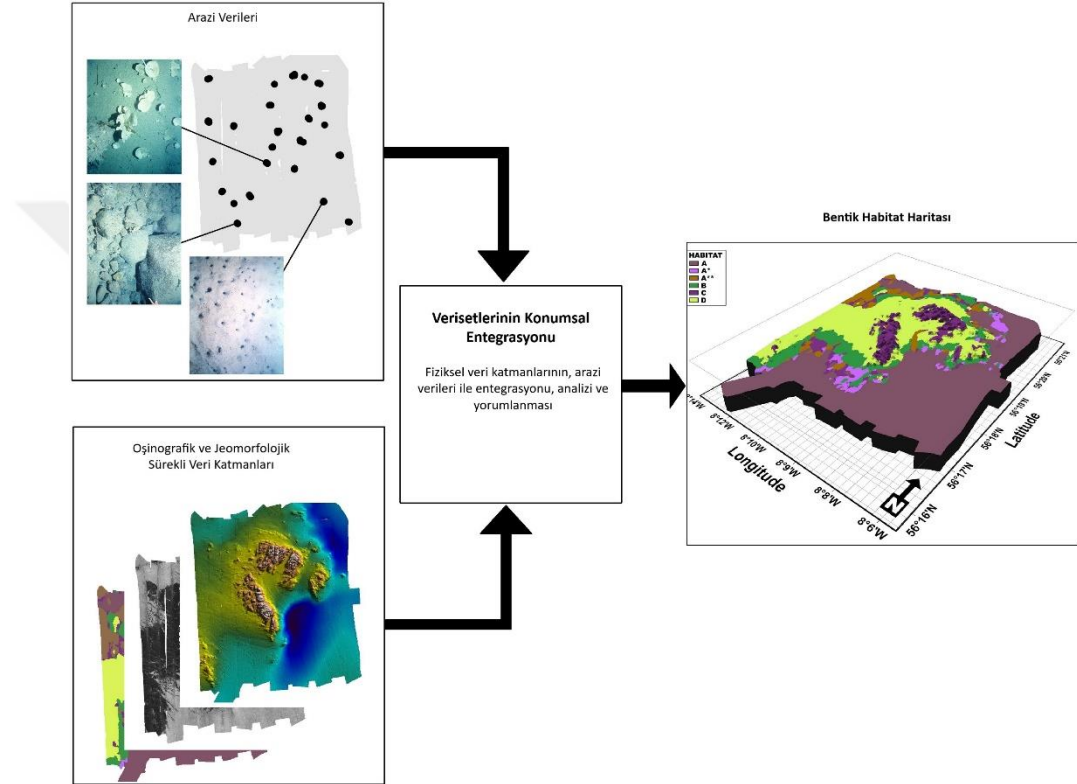
1.1 Literatür Özeti

Deniz ortamı insan aktivitelerinden kaynaklı artan baskıların altında kalmaktadır [4]. Herhangi bir önlem alınmadığı takdirde, 21. yüzyılın ortalarında balık ve deniz ürünleri sektörünün geri dönülemez bir şekilde çökeceği öngörülmektedir [5]. Bununla birlikte, küresel ölçekte okyanus alanlarının tümü insan aktivitelerinin etkisinde kalmıştır [6]. Bentik habitatın ekolojik fonksiyonu ve coğrafi çeşitliği hakkındaki bilgilerimiz klasik ölçme yöntemlerinin kısıtlamalarında dolayı çok zayıftır [1].

Deniz tabanı hakkında jeolojik ve biyolojik araştırmalar, tabandan alınan örnekler ile ilk olarak 19. yüzyılın başlarında gerçekleştirilmiştir [7]. Ancak kepçe, trol, video, fotoğraf gibi arazi örnekleme teknikleri, biyofiziksel doku ve süreçleri tanımlamada zorluklar çıkarmaktadır [8]. Çünkü bahsedilen örnekleme teknikleri küçük alanda çok detaylı bilgi sağlamalarına rağmen, deniz altı biyofiziksel karakteristiklerinin geniş alanda gösterimine imkan sağlayamamaktadır [4].

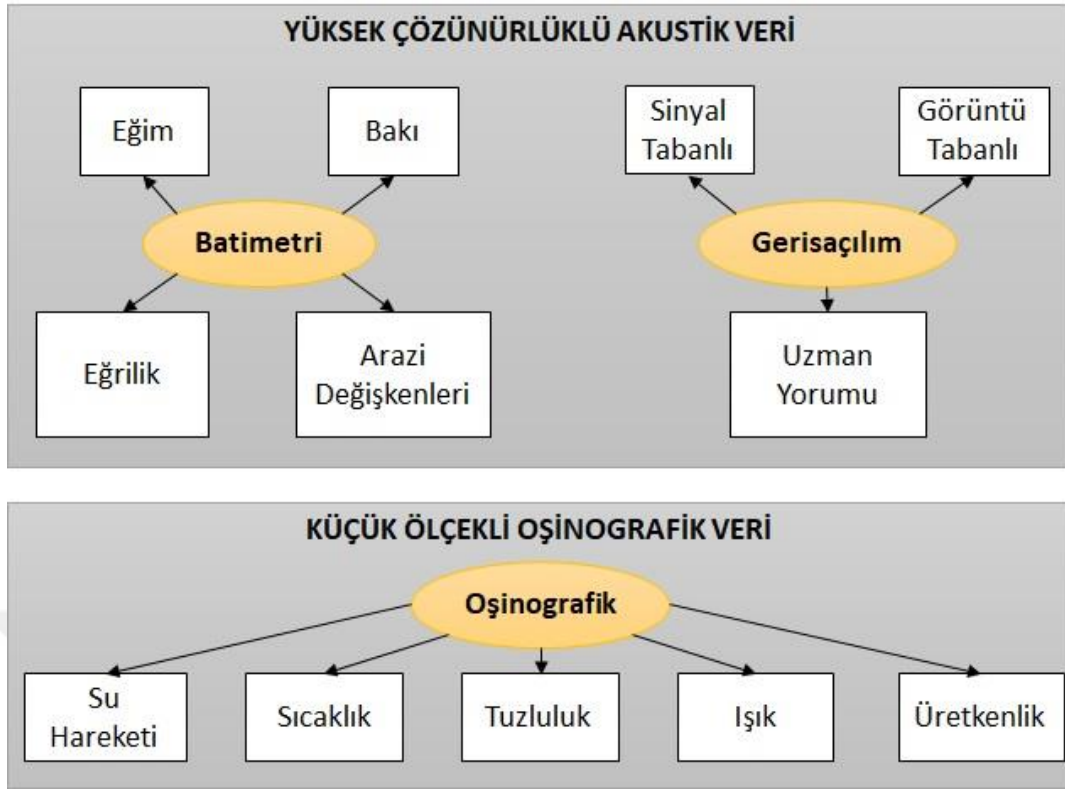
Akustik ölçme sistemlerinin gelişmesiyle birlikte, tek bimli iskandil (SBES), yandan taramalı sonar (SSS) ve çok bimli iskandil (MBES) sistemleriyle, geniş alanda deniz çalışmaları gerçekleştirmek mümkün hale gelmiştir. Tek bimli iskandiller noktasal veri topladıklarından ötürü, yüzey oluşturmak için enterpolasyon işlemi uygulamak gerekmektedir. Bu süreç homojen olmayan yüzeyler için iyi sonuçlar vermeyebilir. Yandan taramalı sonar sistemleri sürekli veri toplamaktadırlar; fakat batimetri ölçümü gerçekleştirmemektedir. Çok bimli iskandil sistemleri, gelişen teknolojiyle birlikte bim açılarının küçülmesi ve eş zamanlı batimetri toplama özelliğiyle, deniz altı habitat haritalama işlemleri için ideal bir araç haline gelmiştir [4]. Deniz altı habitat haritalama genel süreci Şekil 1.3’te görülmektedir. Yer gerçeklik verileri

deniz yüzeyinin çok küçük bir kısmını örnekler; diğer alanlar uzaktan algılama verisi ve arazi verilerinin ilişkilerine göre kestirilir. Bu nedenle, her türlü bentik habitat haritalama işleminde, sürekli fiziksel veri katmanları ve arazi örnekleme verilerine ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, oşinografik parametreler de deniz yüzeyi biyolojik karakteristiklerine aynı oranda etkiye sahiptir (Şekil 1.4). Akustik veri setlerinin aksine, oşinografik veriler coğrafi olarak daha kabadır. Oşinografik veriler 10 metreden 10 kilometreye kadar yatay çözünürlükte olabilirler.



Şekil 1.3 Bentik habitat haritalama süreci genel adımları [4]

Bentik habitat haritalama konusunda, literatürde farklı veri toplama ve değerlendirme yöntemleriyle çeşitli bölgelerde yapılmış çalışmalar bulunmaktadır. Gaida vd. [9] yeni bir teknoloji olan çok bantlı gerisaçılım verisi için bir Bayes metodu eklentisi önererek deniz tabanı çökel sınıflandırması gerçekleştirmiştir. Aynı veri türünü kullanarak, Costa [10] regresyon ağaçları kullanarak 7 farklı bentik habitatı sınıflandırmıştır. Buscombe vd. [11] deniz tabanı sınıflandırması için iki farklı olasılıksal model kullanarak, çok bantlı gerisaçılım verisini tek bantlı geri saçılım verisi ile karşılaştırmıştır. Lacharité vd. [12] 4 frekanslı çok bimli iskandil ile obje tabanlı görüntü analizleri ile tek bir habitat haritası oluşturmuşlardır.



Şekil1.4 Bentik habitat haritalamada kullanılan veri setleri [4]

Ierodiaconou vd. [13] çok bimli iskandil verisinin piksel ve obje tabanlı kombinasyonlar kullanılarak deniz çayırı ve mikro algleri içeren bir habitat haritası oluşturmuşlardır. Turner vd. [14] ise tek sınıflandırıcıların performansını çoklu sınıflandırıcılar ile karşılaştırmıştır. Ferretti vd. [15] tek bimli iskandil ve uzaktan kumandalı araç kullanarak farklı sınıflandırma teknikleri ile *P. oceanica* dağılım haritası oluşturmuşlardır. Montereale Gavazzi vd. [16] dokusal analiz, piksel, obje ve manüel sınıflandırıcıları çok bimli iskandil verisi ile deniz tabanı haritalanması için karşılaştırmışlardır. Çalışmaya göre piksel tabanlı sınıflandırıcılar daha yüksek doğruluk ile sonuçlar üretmektedir. Fakat bu doğruluk sınıf sayısına ciddi derecede bağımlı olmaktadır. Smith vd. [17] Batı Antarktika kıyısının bentik habitat haritalamasını oluşturmak için yaptıkları çalışmada 48 km²'lik bir alanın batimetri ve gerisaçılım verisini çok bimli iskandil ölçümleriyle, yer gerçeklik verisini ise sualtı video çekimi ile elde etmişlerdir. Çalışmada, biyolojik ve ekolojik veri setlerini entegre etmek, biyolojik ve abiyotik ilişkileri ve harita habitat birimlerini değerlendirmek için iki yöntem kullanılmıştır. "Tepeden-tabana" yaklaşımında ekolojik veriler jeomorfik birimler olarak özetlenerek, biyolojik topluluklar

belirlenen bu birimlere göre modellenmiştir. “Tabandan-tepeye” yaklaşımında bentik topluluklar biyolojik benzerliğe göre belirlenmiş ve habitat sınırlarını belirlemek için ilgili ekolojik parametrelerle ilişkiler tanımlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, “tabandan-tepeye” yöntemi bentik habitat haritalama için daha uygundur. Florida’da (ABD) gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, bentik habitat haritalamak ve mercan resif ekosistemini gözlemlemek için hiperspektral, hava fotoğrafları ve batimetri veri setlerine füzyon teknikleri uygulanmıştır. Elde edilen veriye rastgele orman (RO), destek vektör makinaları (DVM) ve k-en yakın komşuluk makine öğrenme algoritmaları uygulanarak, ön sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Nihai obje tabanlı habitat haritaları, üç sınıflandırıcıdan elde edilen sonuçların topluluk analizi sonucunda oluşturulmuştur. Bu yöntem 3 sınıf ve 9 sınıf için test edilerek, sırasıyla %88.5 ve %83.5 ortalama doğruluk elde edilmiştir [18]. Portekiz’deki bir denizaltı koruma bölgesinde gerçekleştirilen bentik habitat haritalama çalışmasında, akustik ölçümler, çökelti örnekleri ve video çekimleri gerçekleştirilmiştir. Gerisaçılım verileri, video çekimlerinden elde edilen yer gerçekleri verileri kullanılarak, kontrollü sınıflandırma gerçekleştirilmiştir [19]. Galparsoro vd. [20] çok bimli iskandil, grab örnekleri, video ölçümleri ve oşinografik gözlemlere dayanarak, Bask Bölgesi kıta sahanlığının bentik haritasını oluşturmuşlardır. 2302 km²’lik alan, “tepeden-tabana” ve “tabandan-tepeye” yöntemlerini birlikte kullanarak, Avrupa Doğa Bilgi Sistemi (EUNIS) hiyerarşik sınıflarına göre sınıflandırılmıştır. “Tabandan-tepeye” yöntem ile habitat tanımla için biyolojik ve ekolojik arazi verilerinin analizi gerçekleştirilmiştir. “Tepeden-tabana” yöntemi ise harita üretimi aşamasında kullanılmıştır. Buhl-Mortensen vd. [21] Norveç Haritalama Programı (MAREANO) altında, çok bimli iskandil ölçümleri ve denizaltı video çekimleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilerek, sınıflandırılması ve modellenmesi işlemleri Maksimum Entropi Dağılım Modeli (Maximum Entropy Distribution Modelling: Maxent) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Barrell vd. [22] tarafından yapılan çalışmada ise, diğerlerinden farklı olarak deniz çayırlarının haritalanmasında akustik ve uydu uzaktan algılama yöntemlerinin bütünleyiciliği tartışılmıştır. Quickbird uydu görüntüsü ile tek bimli iskandil verileri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, çalışma bölgesinin elde edilen sonuçlarda önemli etki gösterdiği ortaya konmuştur. Malta’da

gerçekleştirilen bir çalışmada, çok bimli iskandil verileri piksel tabanlı elde edilerek, entropi ve homojenlik hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada, ölçüm şartları ve ayarlarının sonuç veriye etkileri irdelenmiştir [23]. Calvert vd. [24] gerisaçılım, batimetri ve yer gerçeklik verilerinden oluşturdukları 3 veri seti üzerinde kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma tekniklerinin performanslarını karşılaştırmışlardır. Oluşturulan veri setleri, (1) yalnızca gerisaçılım, (2) batimetri ve türevleriyle birleştirilmiş gerisaçılım ve (3) yalnızca batimetri ve türevleri olarak belirlenmiştir. Bu veri setleri maksimum benzerlik (maximum likelihood) kontrollü sınıflandırma ve ISO cluster kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Maksimum benzerlik yöntemi ile %46, %56 ve %49, ISO cluster yöntemi ile %52, %65 ve %51 ortalama doğruluk oranları elde edilmiştir. Rzhonov vd. [25] gerisaçılım verisinin sınıflandırmasında farklı bir metod uygulamıştır. Gerisaçılım verisini çoklu segmentasyona tabi tutarak, yanlış veya doğru tüm muhtemel sınırlarını elde etmektedirler. Elde edilen segmentasyon görüntüsüne, kaynaştırma (coalescence) işlemi uygulanarak, benzer deniz yüzeyi özelliklerine sahip segmentler birleştirilir. Çok bimli iskandil ve bentik habitat konusunda birçok çalışması bulunan Brown vd. [26] gerçekleştirdiği bir diğer çalışmada, çok bimli iskandil ile elde edilen gerisaçılım ve batimetri verilerinin farklı sonradan işleme yöntemleri kullanılarak elde edilebilecek ürünlerden bahsetmektedir. Örnek olarak, çok bimli iskandil verisinin sınıflandırılarak deniz tabanının biyo-fiziksel karakteristiklerinin elde edilmesi veya balıkçılık yönteminde büyük öneme sahip bir uygulama olan belirli bir canlı için uygun habitat kestirimi çalışmaları gösterilmiştir. Che Hasan vd. [27] Avustralya'da gerçekleştirdikleri çalışmada, çok bimli iskandil ile elde edilen gerisaçılım ve açısız yanıt verisini, videolardan elde edilen eğitim verileri kullanılarak, karar ağaçları kontrollü sınıflandırması ve mean shift görüntü segmentasyonu birleşimi ile bentik habitat haritaları oluşturulmuştur. Che Hasan vd. [28] benzer bir çalışmada ise bentik habitat haritalamada çok bimli iskandilden elde edilen gerisaçılım verisinin sınıflandırılmasında kullanılan dört farklı kontrollü sınıflandırma yöntemini karşılaştırmıştır. Çalışmada, maksimum benzerlik, DVM, RO ve QUEST kontrollü sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır. En yüksek doğruluk DVM ve RO yöntemlerinde elde edilmiştir. Plets vd. [29] Kuzey İrlanda kıyılarında gerçekleştirilen çalışmada, 1 metrelik gridlere bölünen batimetri ve gerisaçılım

verileri ile QTC Multiview yazılımı kullanılarak kontrolsüz sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Elde edilen veri, batimetri ile elde edilen eğim bakı gibi verilerle ArcGIS yazılımında entegre edilerek, çalışma bölgesindeki mevcut habitat 10 sınıfa ayrıştırılmıştır. Ierodiaconou vd. [30] gerçekleştirdiği çalışmada, çok bimli iskandil ve video çekimleri kullanılarak bentik habitat haritalamada otomatik sınıflandırma teknikleri karşılaştırılmıştır. Maksimum benzerlik, QUEST (Quick Unbiased Efficient Statistical Tree) ve CRUISE (Classification Rule with Unbiased Interaction Selection and Estimation), çalışmada karşılaştırılan sınıflandırma yöntemleridir. Çalışma sonuçlarına göre, QUEST sınıflandırma yöntemi %80 ile maksimum benzerlik ve CRUISE yöntemlerine üstünlük sağlamıştır. Coiras vd. [31] tarafından İspanya'nın güneyindeki Alboran Denizi'nde gerçekleştirilen çalışmada, kaynaştırılan batimetri ve gerisaçılım verileri, videolardan elde edilen yer gerçeklik noktaları kullanılarak otomatik sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. De Falco vd. [32] Sardinya civarlarında gerçekleştirdikleri çalışmada çok bimli iskandil gerisaçılımı, çökelti tanecik büyüklüğü ve Posidonia Oceanica deniz çayırlarının dağılımlarının arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. 16'sı deniz çayırı, 41'i çökelti olmak üzere 57 istasyondan yer gerçeklik verileri toplanmıştır. Bu tez açısından bu çalışmadaki en önemli sonuç, yazarların sadece gerisaçılım yoğunluğu verisine dayanarak deniz çayırının ne tür bir zeminde yetiştiğini söylemenin zor olduğunu, akustik cevabın daha çok yaprak kapalılığına bağlı olduğunu savunmasıdır. McGonigle vd. [33] gerçekleştirdiği çalışmada, çok bimli iskandil sistemi gerisaçılım yönünün görüntü tabanlı sınıflandırmaya etkisi incelenmiştir. 2 km²'lik bir test alanında, farklı hızlarda ve farklı yönlerde 24 saatlik zaman diliminde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, geminin hızından ziyade, gerisaçılımın toplanma yönünün görüntü tabanlı sınıflandırmayı etkilediğini vurgulamaktadır. Ierodiaconou vd. [34] Avusturalya'da gerçekleştirdikleri çalışmada, jeofiziksel ve sualtı video çekimleri ile otomatize karar ağaçları kullanılarak, Victoria kıyılarının bentik habitat haritalarını oluşturmuşlardır. Blondel ve Sichi [35] Kuzey İrlanda kıyılarında gerçekleştirdikleri çalışmalarında çok bimli sonar görüntüsünün dokusal analizi üzerinde durmuşlardır. Yazarlar, k-means yöntemi ile kontrolsüz sınıflandırma uyguladıkları görüntülerin, sonuç haritalarının yeterli doğrulukta olduklarını savunmaktadır. Preston [36] yaptığı çalışmada, çok bimli iskandil görüntülerinin doku ve genliğe

dayanarak otomatik deniz yatağı sınıflandırmasını araştırmıştır. Çalışmada kontrolsüz sınıflandırma kullanılmıştır. Yer gerçeklik verilerine oluşturulan sınıfları etiketleyebilmek için ihtiyaç duyulmuştur. Simons ve Smellen [37] çok bimli iskandil gerisaçılım verisi için her bimden gelen gerisaçılım ortalaması kullanan yeni bir sınıflandırma metodu önermektedir. Metot, iyi bilinen bir alanda test edilerek, habitat sınırlarını istenilen şekilde çıkardığı görülmüştür. Fonseca vd. [38] mozaığın konumsal çözünürlük ve açısız menzıl analizinin (angular range analysis) açısız çözünürlük avantajlarını bir arada kullanabilmek için, mozaikleme ve açısız menzıl analizini bir arada kullanan bir yöntem önermektedir. Öncelikle, çalışma alanı için normalize edilmiş akustik gerisaçılım hazırlanmıştır. Akustik tema olarak adlandırılan aynı doku örüntülerine sahip alanlar görsel değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Son olarak, aynı akustik temaya düşen ortalama gerisaçılım açısız yanıtı, akustik gerisaçılım gözlerini deniz tabanı özelliklerine bağlayan düzgün bir matematiksel model ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, su altı fotoğrafları ile karşılaştırıldığında, akustik temaların mevcut durum ile iyi korelasyon gösterdiği öne sürülmüştür. Costa vd. [39] 2009 yılında yaptıkları çalışmada, bentik habitat haritalama amacıyla kullanılmak üzere çok bimli iskandil ve LiDAR verilerinin doğruluk karşılaştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Düz yüzeylerde benzer sonuçlarda elde edilse de, geniş ölçekte verilerin birbirine yeteri kadar korelasyon sağlamadığı görülmüştür. Yazarlar, bentik habitat haritalamada kullanılabilmesi için, LiDAR yoğunluk algoritmasının geliştirilmesi gerektiği sonucuna varmıştır. Rattray vd. [40] Avustralya'da gerçekleştirdikleri çalışmada, çok bimli iskandil verileri ile konumsal sualtı video çekimleri entegre ederek, bentik habitat haritalama uygulaması yürütmüşlerdir. Otomatize karar ağaçları kullanarak yaptıkları sınıflandırma işleminde beş biyotik grup ve maksimum %87 ortalama doğruluk elde etmişlerdir. Christensen vd. [41] Norveç'in kuzeyinde gerçekleştirdikleri çalışmada, farklı iki ölçümde, farklı yer gerçeklik verileri ve farklı sınıflandırma teknikleri kullanılarak, etkilerini irdelemişlerdir. Gel-git akıntısının gücü ve deniz yatağı tortu dokusunun biyolojik işlem adımlarına büyük etkisi olduğu söylenmiştir. Dolan vd. [42] tarafından Norveç'te MAREANO programı kapsamında gerçekleştirilen çalışmada, çok bimli iskandil ve sualtı videolar kullanılarak deniz yatağı nitelik türü haritası oluşturulmuştur. Marsh ve Brown [43] çok bimli iskandil gerisaçılım ve

batimetri verilerinin yapay sinir ağı ile sınıflandırılması üzerine araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Godet vd. [44] gelgitle ilgili bentik habitatların haritalanması ve gözlenmesi ile ilgili mevcut teknikleri derleyerek, “Doğrudan Arazi Gözlemleri” adında yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Erdey-Heydorn [45] 2008 yılında yaptığı çalışmada, San Francisco Koyu’nda toplanan veri setlerini kullanarak, sığ sulardaki potansiyel bentik habitatların karakterizasyonu için kontrollü sınıflandırma ile ArcGIS sınıflandırma araç seti oluşturmuştur. Nitsche vd. [46] New York şehri boyunca uzanan Hudson nehri için batimetri, sonar ve 600’ün üzerinde kepçe örnekleri kullanarak, derenin çökelti dağılımı haritasını oluşturmuşlardır.

Hava ve uydu uzaktan algılama tekniklerinin gelişmesiyle birlikte, optik uzaktan algılama verileri de deniz altı çalışmalarda kullanılmaya başlamıştır [47]. Fakat ışığın sudaki geçirgenliğinin zayıf olmasından dolayı, bu çalışmalar sadece sığ deniz alanlarında kısıtlı kalmıştır. Literatürde deniz çayırının algılanması, alansal kapsamı, dağılım ve miktar haritalaması, sınır ve biyokütle değişimlerinin izlenmesi çalışmalarında optik uzaktan algılama uydu görüntüleri kullanılmaktadır [48].

Literatürde uydu görüntüleri kullanılarak gerçekleştirilen birçok deniz altı çalışmalar bulunmaktadır. Traganos ve Reinartz [49] Sentinel-2 uydu görüntüleri üzerinden makine öğrenmesi tekniklerine dayanarak, bentik reflektans ve *P. oceanica* çayırının haritalama çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Ventura vd. [50] insansız hava araçları ile obje tabanlı görüntü analizi teknikleri kullanarak, *P. oceanica* dahil olmak üzere üç adet ekolojik olarak hassas bentik habitatları incelemişlerdir. Traganos ve Reinartz [51] RapidEye uydu görüntülerini zamansal olarak inceleyerek Akdeniz’deki deniz çayırının değişim analizi üzerine yoğunlaşmışlardır. Eugenio vd. [52] bentik habitat çalışmaları için multispektral uydu görüntülerine uygulanan farklı atmosferik düzeltme tekniklerinin değerlendirmesini yapmıştır. Pu ve Bell [53] yüksek çözünürlüklü IKONOS görüntüsü ile deniz çayırı kaplama alanını ve konumsal analizini gerçekleştirerek, elde ettikleri sonuçları Landsat TM uydu görüntüsü ile karşılaştırmışlardır. Koedsin vd. [54] WorldView-2 ve yer gerçeklik verileri kullanarak Güney Tayland’daki deniz çayırı türlerini, sınırlarını ve biyokütlesini elde etmek için bir metot önermişlerdir. Misbari ve Hashim [55] Landsat Thematic Mapper (TM) ve Landsat Operational

Land Imager (OLI) görüntüleri üzerinden, ışınım ve deniz çayırları biyokütlesini hesaplayarak Malezya'nın sığ kıyılarındaki deniz çayırı değişimini araştırmışlardır. Portekiz'de gerçekleştirilen bir çalışmada lineer dönüşüm algoritmaları kullanılarak Landsat 8 görüntülerinden yakın kıyı bölgesinin batimetrisi elde edilmiştir [56]. Kim vd. [57] Kore kıyılarında 4 farklı uydudan elde edilen görüntüler kullanarak bulanık sularda deniz çayırlarının haritalanması ve zamansal görüntüler kullanarak fırtınaya maruz kalan deniz çayırlarının yok olmalarını gözlemlemişlerdir. Malezya'nın üç ayrı bölgesinde toplamda 49 adet Landsat 5, 7 ve 8 görüntüleri kullanılarak deniz çayırlarının zamansal değişimi izlenmiştir [58]. Hossain vd. [59] diğer bir çalışmalarında, Landsat 7 uydusunda bulunan tarama boşluklarını doldurma yöntemlerinin deniz çayırlarının haritalanmasına etkilerini araştırmışlardır. Hossain vd. [60] bir diğer çalışmada ise, Landsat görüntü iyileştirme tekniklerinin deniz çayırlarının algılanma ve dağılım haritalarının çıkarılmasına etkisi üzerinde durmuştur. Florida'nın batı kıyısında gerçekleştirilen bir çalışmada, üç fırtınaya maruz kalan bölgede Landsat 5 TM uydu görüntüleri kullanılarak deniz çayırlarının zamansal değişimi gözlemlenmiştir [61]. Blakey vd. [62] Florida'daki bir koyda Landsat 5 TM zaman serisi görüntülerine genelleştirilmiş piksel tabanlı sınıflandırıcılar uygulayarak bentik reflanktansın kontrollü sınıflandırmasını gerçekleştirmişlerdir. Benzer bir çalışmada ise, Kızıl Deniz'de turistik faaliyetler nedeniyle zarar gören bentik habitatın 1987 – 2013 yılları arasında Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI görüntüleri kullanılarak değişimi gözlenmiştir [63]. Hill vd. [64] hiperspektral uçak uzaktan algılama sensörü ile Florida, Saint Joseph koyunda deniz çayırı biyokütle ve üreme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bir diğer çalışmada Pu ve Bell [65] Landsat 5 TM, Earth Observing-1 (EO-1) Advanced Land Imager (ALI) ve Hyperion (HYP) görüntülerden deniz çayırlarının haritalanma performansını artırmak üzere bazı görüntü optimizasyon algoritmaları önermişlerdir. Avusturalya'da gerçekleştirilen çalışmada, Landsat uydu görüntüleri zaman serisi olarak kullanılarak deniz çayırlarının konumsal ve zamansal dinamiklerinin analizleri üzerinde durulmuştur [66]. Roelfsema vd. [67] 2013 yılında yaptıkları bir çalışmada, geniş karmaşık deniz çayırı alanlarının uzaktan algılama ile değişimlerinin izlenmesindeki kısıtlamalardan ve zorluklardan bahsetmiştir. Farklı bir çalışmada, Asya Kıtası'nda

Endonezya, Malezya, Papua Yeni Gine, Filipinler, Solomon Adaları ve Doğu Timor ülkelerinin kıyılarını kapsayan mercan üçgeninde deniz koruma alanlarının belirlenebilmesi için 18 adet Landsat uydu görüntüsü kullanılarak deniz çayırlarının mevcut durum haritaları elde edilmiştir [68]. Bir diğer çalışmada, aynı geometrik çözünürlüğe sahip olan Landsat 5 TM, EO-1 ALI ve Hyperion görüntülerinin Florida'nın batı kıyısındaki deniz çayırlarını haritalama performansları karşılaştırılmıştır [69]. Avustralya'da yapılan bir çalışmada, 1972 - 2010 yılları arasında Landsat MSS, TM ve ETM+ görüntüleri üzerinde obje tabanlı sınıflandırma teknikleri uygulanarak, deniz çayırlarının ve arazi örtüsünün haritalanması gerçekleştirilmiştir [70]. Dekker vd. [71] Ocean PHILLS ve CASI-2 hiperspektral algılayıcılar kullanarak Avustralya ve Karayipler'deki kıyı bölgelerinde batimetri çıkarımı ve deniz altı habitat haritalama çalışması gerçekleştirmişlerdir. Lyons vd. [72] QuickBird uydu görüntüsü kullanarak, batimetri çıkarımı, deniz çayırı dağılımı, deniz çayırı türü ve deniz çayırı değişimi çalışmalarını yürütmüşlerdir. Avustralya'da Phinn vd. [73] tarafından yapılan bir çalışmada, Quickbird-2 ve Landsat 5 TM uydu görüntüleri ile hava fotogrametrisinde kullanılan hiperspektral CASI-2 sensör görüntülerinin deniz çayırı türlerinin ve dağılımının haritalanmasındaki performanslarını karşılaştırmışlardır. Wabnitz vd. [74] bölgesel ölçekte bir çalışma yaparak, Geniş Karayip bölgesinin deniz çayırı haritalarını Landsat uydu görüntülerini kullanarak üretmişlerdir.

Bu tez çalışmasında ise akustik ve optik verilerden elde edilen derinliklerin beraber kullanılarak *P. oceanica* deniz çayırına uygun habitatların belirlenmesi için bir model geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Holon vd. [75] derinlik ve 10 antropojenik etkinin bir fonksiyonu ile RO modelleme kullanılarak, Fransa Akdeniz kıyısındaki *P. oceanica* çayırlarındaki azalmanın sebeplerini açıklayarak yönetim ve koruma için çıkarımlarda bulunmuşlardır. Jayathilake ve Costello [76] belirledikleri 13 ölçüt ile deniz çayırı biyomunun global dağılımını modellemişlerdir. Fernandes vd. [77] şehir kıyılarındaki deniz çayırı habitatı için gerekli ışık koşulları üzerine optik bir modelin parametrizasyonunu amaçlamışlardır. Hotaling-Hagan vd. [78] ışık ve bot aktivite baskılarını göz önünde bulundurarak, sığ bölgelerdeki deniz çayırı restorasyonu için yer seçimini geliştirecek bir konumsal model önermişlerdir. Saunders vd. [79] hidrolojik, istatistik ve tür dağılım modeli kullanarak, artan çökel miktarlarının

deniz çayırına uygun habitat sınırlarını lineer olmayan bir şekilde azalttığını savunmuşlardır. Lanuru vd. [80] yedi ölçütlü yer seçimi modeli kullanarak deniz çayırlarının transplantasyonuna uygun alanların tespitini amaçlamışlardır. Folmer vd. [81] Kuzey Wadden Denizi'ndeki 17 yıllık deniz çayırı ölçümlerine, yüksek çözünürlüklü hidrodinamiklere ve jeomorfolojiye dayanarak beş makine öğrenmesi metodu ile bir habitat dağılım modeli geliştirmişlerdir. Adams vd. [82] ışık, dalga yüksekliği ve çökel faktörlerini göz önünde bulundurarak geliştirdikleri tür dağılım modelini, yerel yönetim eylem planlarını önceliklendirme işleminde kullanmışlardır. Shafer vd. [83] Kuzey Amerika'da istilacı bir tür olan *Zostera japonica* türünün üç ölçüte bağlı olarak habitat uyumluluk modelinin geliştirilmesini amaçlamıştır. Zucchetta vd. [84] Kuzey Afrika kıyısında çevresel ve diğer değişkenleri göz önünde bulundurarak *P. oceanica* dağılımını modelleyerek, bu tür özelinde iyi çevresel durum değerlendirmesi için çıkarımlarda bulunmuşlardır. Chefaoui vd. [85] *Cymodocea nodosa* deniz çayırı için Akdeniz-Atlantik kıyılarında çevresel ve alansal değişkenler dikkate alınarak oluşturulan prediktif model ile bu türe ait uygun habitatlar bulmuştur. Valle vd. [86] *Zostera noltii* deniz çayırı türünün restorasyonu için stratejilerin belirlenmesinde topoğrafik, sedimantolojik ve hidrografik değişkenleri dikkate alan habitat modeli dahil olmak üzere üç farklı transplantasyon deneyi gerçekleştirmişlerdir. Pirrotta vd. [87] *Zostera marina* için geliştirilmiş bir modeli *P. oceanica* üzerinde uygulayarak, uygun restorasyon alanlarının belirlenmesi için kullanmışlardır. Boscutti vd. [88] Kuzey Adriyatik Denizi'ndeki bir lagünde kimyasal, hidromorfolojik ve çökel parametrelerinden yola çıkarak hafif tuzlu sularda deniz çayırları için dağılım modeli oluşturmuşlardır. Callaghan vd. [89] farklı dalga modelleri oluşturarak, her bir dalga modeline dayanan deniz çayırı için prediktif model oluşturmuştur. Zhou vd. [90] *Z. marina* deniz çayırı türü için yedi ölçüte dayalı habitat uyumluluk analizi gerçekleştirmiştir. Valle vd. [91] *Z. noltii* deniz çayırı türünün küresel ısınma ve deniz seviyesindeki artışa karşı gelecekteki dağılımını kestiren bir model geliştirmişlerdir. Downie vd. [92] Kuzey Baltık Denizi'nde beş ölçüte bağlı olarak habitat ve tür modeli seçiminin kestiren deniz çayırı dağılımına etkisini irdelemişlerdir. March vd. [93] Bayes konumsal yaklaşımı kullanarak çevresel değişkenler ile deniz çayırı varlığını kestirmişlerdir. Valle vd. [94] batimetrik LiDAR ve Ekolojik Niche Faktör Analizi

kullanarak topoğrafik, çökel ve hidrografik karakteristikler ile *Z. noltii* deniz çayırı türüne uygun bentik habitatın modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Grech vd. [95] Avustralya'da sekiz değişken kullanarak deniz çayırları dağılımı için ekosistem ölçeğinde prediktif model geliştirmişlerdir. Santos ve Lirman [96] su yönetimi uygulamalarının deniz çayırı dağılımı değişimine etkisini kestirmek için habitat uyumluluk modeli kullanmışlardır. Van der Heide vd. [97] ılıman bölgelerde *Z. marina* ve *Z. noltii* habitat uyumluluklarını kestirebilmek için 30 değişken ile ana bileşenler analizi ve mantıksal regresyon analizi uygulayarak bir model oluşturmuşlardır. Infantes vd. [98] dalga enerjisine bağlı olarak *P. oceanica* deniz çayırı türünün üst derinlik limitini modellemişlerdir. Bekkby vd. [99] Norveç'in batı kıyısındaki *Z. marina* deniz çayırı türü için konumsal olasılıksal model geliştirmişlerdir. Önceki arazi raporlarına göre doğrulanan model, *Z. marina* için ideal habitatın sığ, hafif eğimli ve korunaklı bölgeler olduğunu belirtmektedir. Duarte vd. [100] 2007 yılında yaptıkları çalışmada, deniz çayırları derinlik limiti modellerinin kestirim güçlerini test etmişlerdir. Bos vd. [101] Kuzey Wadden Denizi'nde *Z. marina* deniz çayırı türünün izlenmesi, dört ölçütlü habitat uyumluluk modeli ve transplantasyonu üzerine çalışmışlardır. Kelly vd. [102] Kuzey Carolina'daki deniz çayırı yataklarının yönetimi ve korunması için prediktif haritalama yöntemini önermişlerdir. Burd ve Dunton [103] *Halodule wrightii* deniz çayırı türünün büyümesinin en baskın faktörünün ışık olarak kabul edildiği bir prediktif model kullanarak deniz çayırlarında biokütle değişimini hesaplamışlardır. Bu tez çalışmasında literatürdeki çalışmalardan farklı olarak ölçütlerin AHP ile ağırlıklandırılması, oluşturulan modelin ikinci bir çalışma alanında test edilerek, uydu görüntüsü tabanlı sınıflandırma sonucu ile karşılaştırılmasının yapılması planlanmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, uluslararası anlaşmalara göre korunması gereken deniz çayırlarının, ekolojik olarak uygun yetişme alanlarının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri destekli çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında aynı zamanda, aşağıdaki sorulara yanıt aranacaktır.

- Deniz çayırlarının yetişme alanlarını belirlemek için gerekli parametreler ve ölçütler nelerdir?
- Önemli parametrelerden olan deniz derinliği hangi yöntemler ile belirlenir? Uydu görüntüleri bu amaçla kullanılabilir mi? Kullanılırsa sağlayacağı avantajlar nelerdir?
- Derinlik, eğim, dalga korunaklı alan, çökel paketleri ve topoğrafik konum endeksi ölçütlerinin deniz çayırı alanlarının belirlenmesinde ağırlıklar nasıl dağılmıştır?
- Referans veri olarak kullanılacak deniz çayırlarının güncel durumu uydu görüntülerinden sınıflandırılarak belirlenebilir mi?
- CBS-ÇÖKA yöntemleri ile bentik habitat bölge haritası yapılabilir mi?
- Bir bölge için kullanılan kestirim modeli başka alanda uygulanabilir mi?

1.3 Hipotez

Tez çalışmasında gerçekleştirilecek model ile çok büyük deniz alanlarının haritalanması, klasik dalış yöntemine göre çok daha kısa zamanda yapılabilmektedir. Deniz altı habitatın haritalanmasıyla birlikte, kaynakların etkin bir biçimde yönetimi ve ekolojik açıdan önemli alanların koruma altına alınabilmesi mümkün olabilmektedir.

Tez çalışması başarıyla tamamlandığında, ülkemizde bahsedilen yöntemle üretilmiş ilk denizaltı habitat haritası üretilecektir. Ülkemizde denizaltı habitat haritaları klasik dalış ve ölçme yöntemiyle üretilmektedir. Bu haritaların üretilmesi hem zaman alıcıdır hem de yeterli çözünürlükte değildir. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farklı olan yönleri ise şu şekilde özetlenebilir:

- 1- Tezde önerdiğimiz yöntem ile bu haritaların hızlı ve yüksek çözünürlüklü olarak üretilmesi mümkün olmaktadır.
- 2- *P. oceanica* bitkisinin Akdeniz'deki yayılımı hakkında çok az bilgi olması sebebiyle, elde edilen veriler coğrafi bilgi sistemi ile entegre edilerek,

disiplinler arası çalışmalar için altlık oluşturacak nitelikte olması hedeflenmektedir.

- 3- Bir bölgede deniz çayırları Antropojenik etkilerden dolayı yok olmuş ise, geliştirilen yöntem ile restorasyon çalışmalarına altlık oluşturularak, deniz çayırlarının geri kazanımına katkı sağlanabilir.



2.1 Akustik Sistemler

Havada ve hava boşluğunda iyi bir geçirgenliğe sahip olan elektromanyetik dalgalar, sıvı alanlarda çok düşük geçirgenliğe sahiptir. Buna karşın, akustik dalgaların sıvı yüzeylerde nüfuz etme ve yayılma özelliği bulunmaktadır. Bu nedenle, derinlik belirlemede kullanılan iskandil sistemlerinde akustik dalgalar kullanılmaktadır. İskandil aletleri bim yapısına göre, tek bimli iskandil ve çok bimli iskandil olarak sınıflandırılabilir. Çok bimli iskandil (ÇBİ) sistemleriyle yapılan ölçmelerde değişik açılarla birçok akustik bim aynı anda gönderilmektedir. ÇBİ sistemlerinin temel prensibi deniz tabanına doğru gönderilen bimlerin seyir süresi ile açı değerlerinin ölçülüp derinliklerin hesaplanmasıdır. ÇBİ sistemleri, bimlerin iki yönlü seyir zamanını ve açığı ölçerek fiziksel ve matematiksel yöntemler ile derinlik değerini hesaplamaktadır [104].

Çok bimli iskandilin çalışma geometrisi Şekil 2.1(a)'da görülmektedir. Buradaki

L = Tarama Genişliği,

θ_M = Maksimum Bim Açısı,

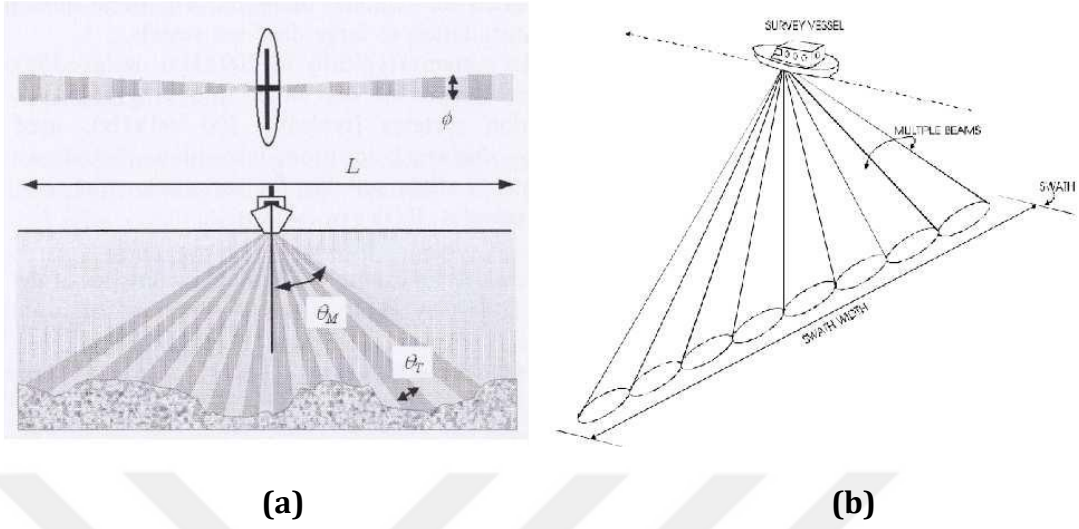
θ_T = İze Dik Açısı,

ϕ = İze Boy Açısı'nı ifade etmektedir.

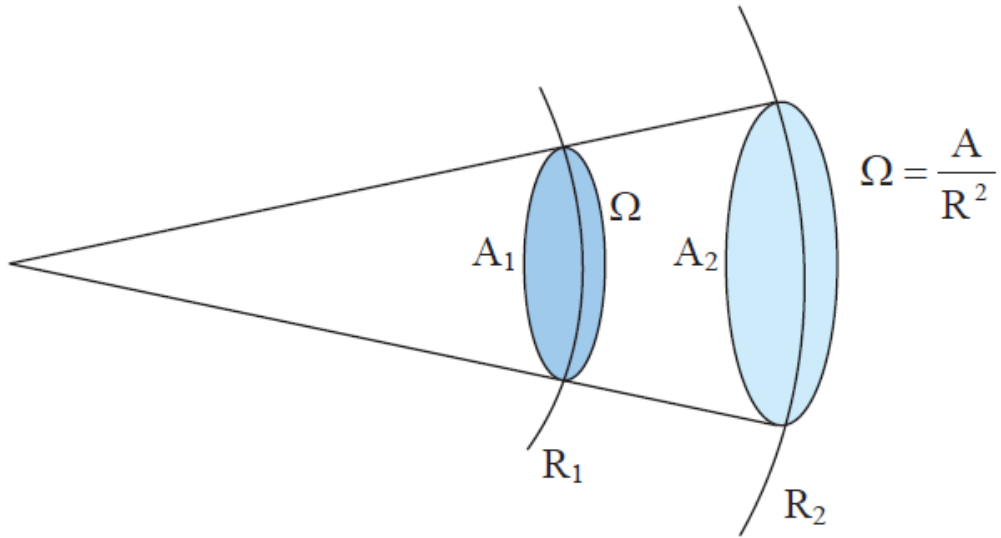
Şekil 2.1(b)'de ise her bimin arazide karşılık geldiği alanı görülmektedir.

Ses, suda sıkışma dalgaları olarak hareket eder. Ses dalgaları suda ortalama 1500 m/s hızda hareket etmektedir. Bu hız, suyun tuzluluk oranına, sıcaklığına ve basıncına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bir ses dalgasının, yerel ses hızında değişiklik olduğunda dalga boyu değişebilir fakat frekansı sabit kalır. Bu nedenle ses dalgaları frekansları ile tanımlanmaktadır. Şekil 2.2'de ses dalgasının geometrisi görülmektedir. Omega, konik yüzey tarafından kaplanan bölgeyi ifade etmektedir. Ses dalgası, kaynaktan uzaklaştıkça genişlemektedir. Buna bağlı olarak, derinlik

arttıkça dalganın geometrisinden kaynaklanan bir çözünürlük kaybı meydana gelmektedir. Bu tip kayıplara iletim kaybı denilmektedir.



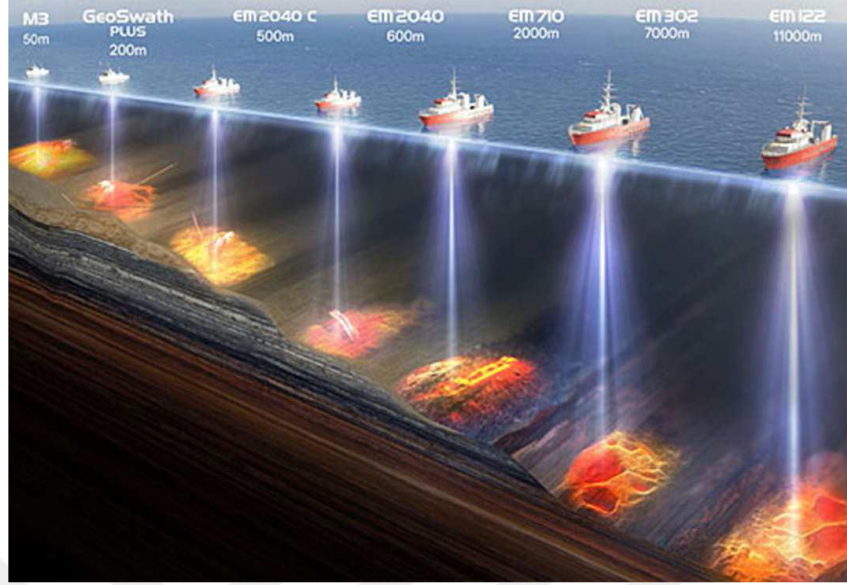
Şekil 2.1 (a) Çok bimli iskandil geometrisi (b) Bim geometrisi [105]



Şekil 2.2 Ses dalgası geometrisi [106]

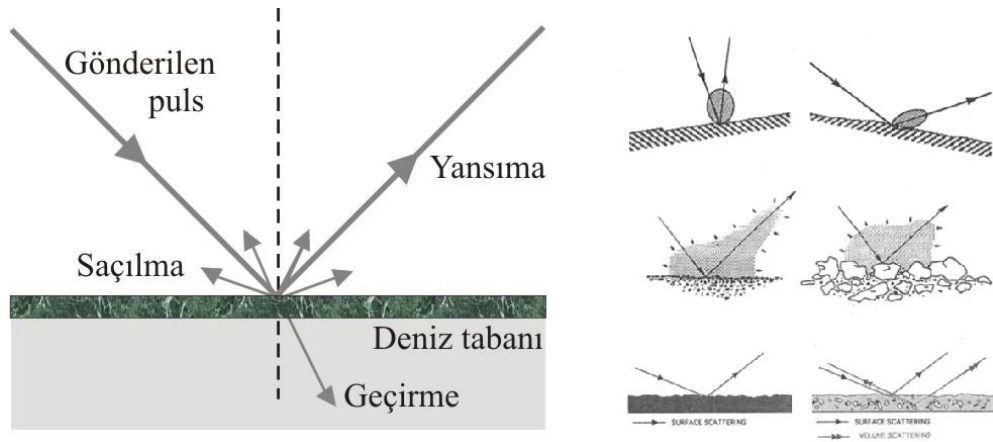
Ses dalgaları, akustik enerji taşırlar. Ses dalgasının genliği, dalganın taşıdığı akustik enerjiye bağlıdır. Genliği büyük olan dalga daha çok enerji taşımaktadır. Bu enerjinin bir kısmı, basınç farklılıkları ve ısı oluşumu sebebiyle kaybedilir. Bu zayıflama işlemine uğrayan dalga boyunun genliği küçülür. Yüksek frekansa sahip dalgalar, kısa mesafede tüm enerjisini kaybeder. Düşük frekanslı dalgalar ise enerjisini daha

uzun mesafeye taşıyabilir. Örneğin; 12 kHz frekansa gibi düşük frekansa sahip bir dalga, suda 10 km kadar yol alabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Ses dalgası frekansı ve menzil ilişkisi [107]

Akustik dalga hedefe ulaştığında enerjinin bir kısmı obje tarafından emilir. Emilme miktarı objenin türüne göre değişir. Enerjinin bir kısmı ise yansıma yapar diğer bir kısmı ise saçılır. Madde tarafından emilmeyen enerji yankı veya eko olarak adlandırılır. Yankı, kaynak dalganın frekans karakterini muhafaza etmektedir (Şekil 2.4).

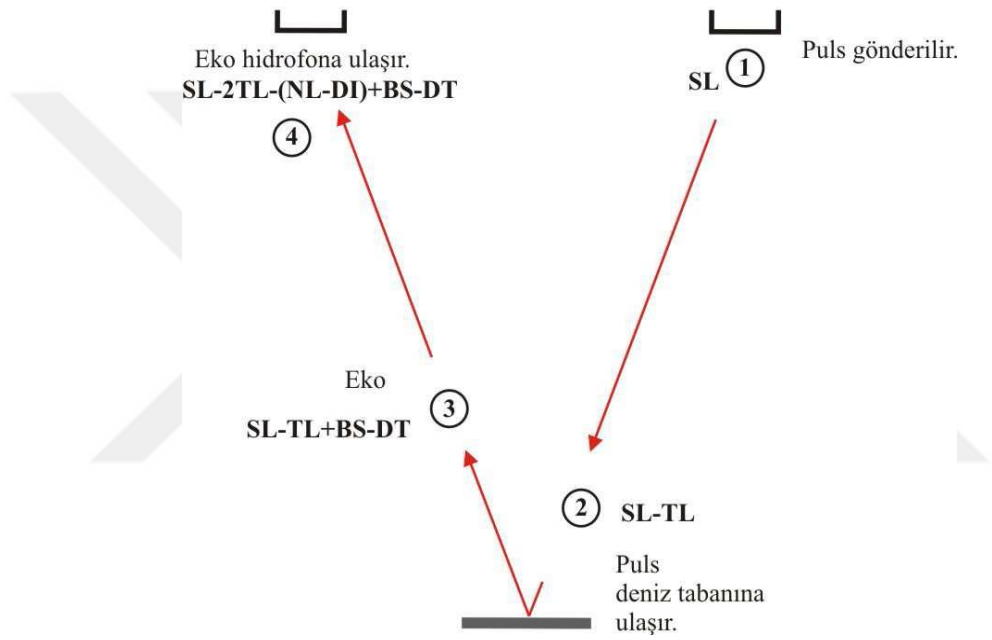


(a)

(b)

Şekil 2.4 (a) Ses dalgasının yüzeyden yansıma geometrisi [104] **(b)** Yansıma parametreleri (üst: geometri, orta: pürüzlülük, alt: yapı) [105]

Hidrofon dönen sinyaldeki kalan enerji miktarını algılar ve ses dalgaları elektrik sinyallerine dönüştürülür. Bu aşamada farklı kaynaklar sebebiyle gürültü oluşmaktadır (Dalgalar, gemi sesleri, yer altı canlıları, vb.). Sinyal - Gürültü oranı diye adlandırılan bu gürültü, algılanan sinyal gücünün gürültü seviyesine oranıdır. Bu oran, algılanabilecek minimum sinyal gücünü tespit etmeyi sağlar. Genel sonar eşitliği (Eşitlik 2.1) tespit kabiliyeti ile iskandillerin performansını çalışma koşullarının bir fonksiyonu olarak tanımlamak için kullanılmaktadır [104, 106, 108] (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Sonar eşitliğini oluşturan dip algılama süreci [104, 106]

$$EE = SL - 2TL - (NL - DI) + BS - DT \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte;

EE: Yankı fazlası (Echo Excess)

SL: Kaynak Seviyesi (Source Level)

TL: İletim Kaybı (Transmission Loss)

NL: Gürültü Seviyesi (Noise Level)

DI: Yönelme Yeteneği (Directivity Index)

BS: Saçılma Gücü (Backscattering Strength)

DT: Tespit Eşiği (Detection Threshold)

olarak tanımlanmıştır.

Deniz tabanının fiziksel özelliklerini belirlemede sıkça kullanılan çok bimli iskandil sistemlerinde, geri saçılım şiddetinin kaydedilmesi için uygulanan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler sadece geri saçılım şiddetine yönelik olup, dip algılama işleminden bağımsızdır.

Yapay Yandan Taramalı Sonar (YTS) Zaman Serisi: İskele ve sancak tarafından geniş açılı bimler ile YTS verisi formunda kaydedilen veri türüdür.

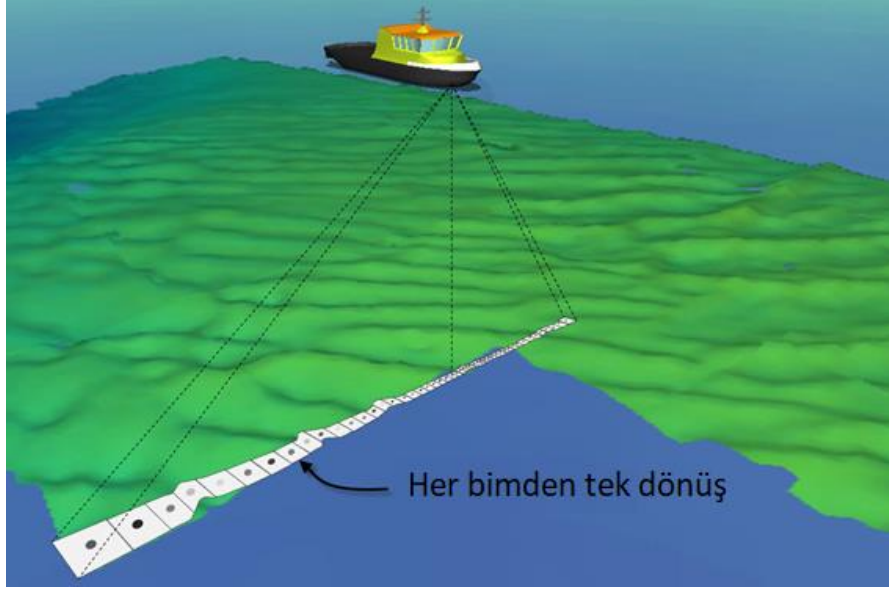
Bim Ortalaması: Bim kaplama alanının ortalaması veya maksimumu ile tek bir değere indirgenerek oluşturulan veri türüdür.

Snippet: Kaplama alanı zaman serisi olarak da adlandırılan Snippet, dip algılama noktası merkezinde bim kaplama alanından yansıyan yoğunluk değerleri pencerelerinden oluşan veri türüdür.

Genlik Zaman Serisi: Snippetler her bir bim kaplama alanı için yoğunluk değerleri verirken, bu veri türünde YTS gibi tüm kaplama alanını içeren zaman serileri bulunur.

Genlik/Açı Zaman Serisi (R2Sonic TruePix): Geri saçılım yoğunluğu ile birlikte açı bilgisinin de kaydedildiği veri türüdür [109].

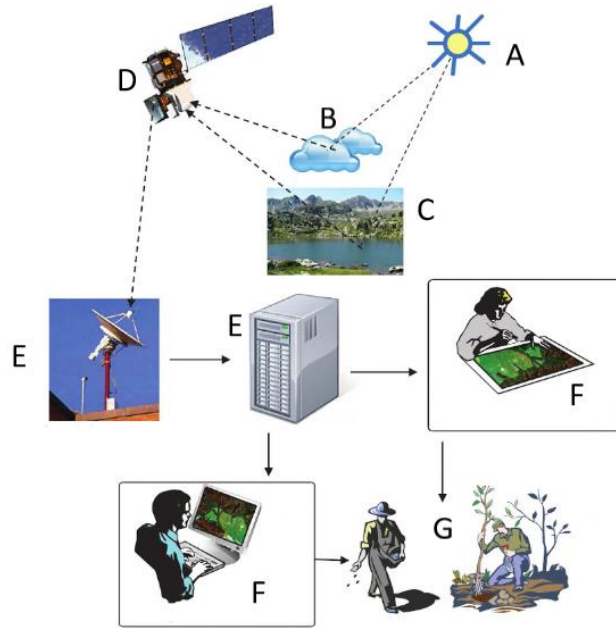
Gerisaçılım verisi bu çalışmada kullanılmadığı için sadece batimetri verisinin oluşma süreci olan dip algılamanın nasıl gerçekleştiğinin üzerinde ayrıntılı olarak durulacaktır. Her bir bimden gelen geri dönüş sinyali kaplama alanı üzerindeki devamlı genlik zaman serisinden oluşmaktadır. Bu sinyalin en geniş kısmı genlik zaman serisini ve kaplama alanını ifade eder. İç kısım snippet ve dip algılama alanını, merkez ise dip algılama noktasını ifade etmektedir. Sonuç olarak her bim den bir derinlik bilgisi elde edilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Bimlerin dip algılama noktaları [109]

2.2 Optik Sistemler

Uzaktan algılama çalışma prensibi, enerji kaynağı (A), radyasyon ve atmosfer (B), obje ile etkileşim (C), enerjinin algılayıcı tarafından kayıt edilmesi (D), aktarım ve işleme (E), yorum ve analiz (F) ve uygulama (G) olmak üzere 8 temel bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.23).



Şekil 2.7 Uzaktan algılamanın genel bileşenleri [110]

Enerji kaynağı, hedefin uzaktan algılanabilmesi için elektromanyetik enerji sağlayan ilk gereksinimdir. Enerji kaynaktan hedefe giderken ve hedeften algılayıcıya giderken atmosfer ile etkileşimde bulunur. Enerji objeye ulaşır ve objeden saçılım gerçekleşir. Bu saçılım veya yayımlanan enerji algılayıcı tarafından kaydedilir. Kaydedilen enerji veri işleme istasyonuna aktarılır ve işlenir. İşlenen veri yorumlanarak ve analiz edilerek, hedef hakkında veri çıkarımı yapılır. Elde edilen veriler yeni bir bilgi çıkarımı veya bir problem çözümünde kullanılabilir. Bu çalışmada uydu görüntüleri derinlik çıkarımı ve sınıflandırma amacıyla kullanılmıştır.

2.2.1 Uydu Görüntülerinden Derinlik Kestirimi

Kıyı, deniz kaynakları ve deniz koruma alanları yönetimi, seyir güvenliği, su ile ilgili bilimsel çalışmalar, turizm ve rekreasyon açısından temel bir veri olan batimetri bilgisine olan ihtiyaç son yıllarda yoğun bir biçimde artmaktadır [111, 112]. Hidrografi yöntemleri ile batimetri verileri yüksek doğruluk ile elde edilebilmektedir. Fakat tek ve çok bimli iskandil gibi hidrografik yöntemler maliyetli, zaman alıcı ve yoğun arazi ölçümleri gerektirmektedir.

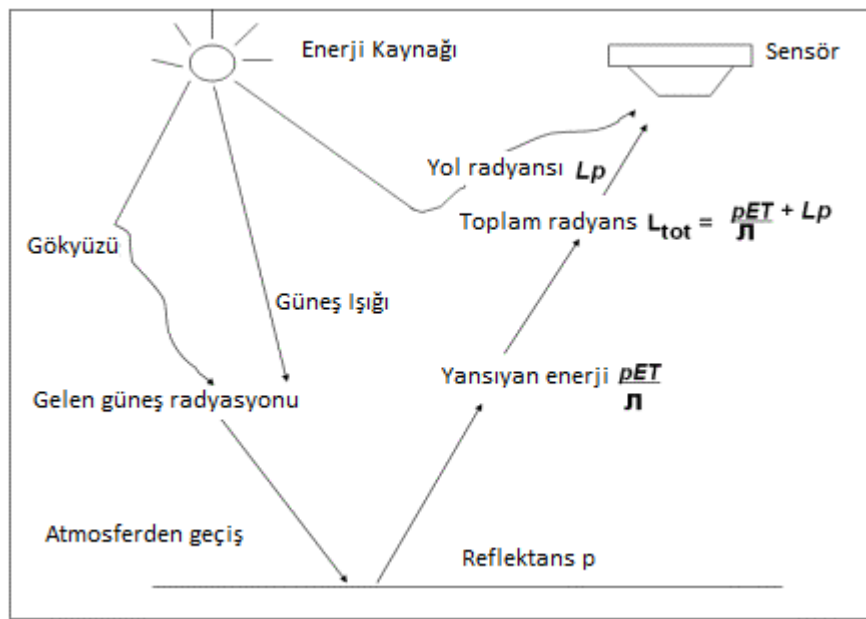
Optik uzaktan algılama ile dünya yüzeyinden geri yansıyan enerji çeşitli spektral bant aralığında kaydedilerek, yüzey görüntüsü oluşturulur. Sığ bölgelerde deniz dibi hakkında habitat yapısı, dağılımı ve su derinliği verileri optik uydu görüntüleri veya hava fotoğrafları kullanılarak elde edilebilir [113]. Bu sayede, hidrografik verilerin olmadığı veya hidrografik verilerde boşluk bulunan bölgelerde, derinlik verisi elde etmek amacıyla uydu görüntüleri kullanılabilir.

Geçmişten günümüze görüntülerden derinlik bilgisi elde etmek için çeşitli algoritmalar önerilmiş ve test edilmiştir. Bu çalışmalarda genellikle suya nüfuz etme oranı en yüksek olan görünür bölgeye ait mavi, yeşil ve kırmızı bantlar tercih edilmektedir. Lyzenga çalışmalarında tek banda dayalı ve bant çiftlerine dayalı algoritmalar geliştirmiştir [113]. Philpot, farklı çevresel etkiler altında ve farklı bölgelerde görüntülerden derinlik bilgisi çıkarımı üzerine çalışmıştır [114]. Stumpf, düşük yansıtma değerlerine sahip bölgelerde de uygulanabilen oran dönüşüm modelini geliştirmiştir [115]. İlerleyen yıllarda Lyzenga, sığ sulardaki yansıtma değerlerinin fiziksel modeline dayalı bir yöntem geliştirmiştir [116].

2.2.1.1 Lyzenga, 1978 Modeli

Bu derinlik kestirimi yönteminde her bir bandın yüzey reflektans değerleri kullanılır. Yüzey reflektansı, yansıyan enerjinin algılayıcıya ulaşırken maruz kaldığı atmosferik etkilerin giderilmesi ile elde edilir (Şekil 2.8). Bu amaç doğrultusunda bant değerlerine Eşitlik 2.2'ye göre bir dönüşüm uygulanır. Bu eşitlikteki L_i ve L_{si} sırasıyla bant radyansı ve o banda ait derin sudaki radyans olarak tanımlanmaktadır.

$$X_i = \ln(L_i - L_{si}) \quad (2.2)$$



Şekil 2.8 Gelen ve saçılan enerjiye etki eden atmosferik faktörler [117]

Eşitlik 2.3'de verilen Beer Kanunu'na göre ışık, su kolonunda derinliğe bağlı olarak katlanarak zayıflar. Bu eşitlikteki K ve z sırasıyla ışığın sudaki zayıflama katsayısı ve derinliği ifade eder. Buradan yola çıkarak reflektans ve dip ilişkisi Eşitlik 2.4'teki gibi kurulmuştur. Bu eşitlikte R_w , A_d , z ve g sırasıyla optik derindeki su kolonu reflektansını, dip albedosunu, derinliği ve giren-çıkan ışığın zayıflama katsayı fonksiyonunu ifade eder. Bu ilişki üzerinden lineer dönüşüm uygulayarak, Eşitlik 2.5'te gösterildiği gibi tek bant üzerinden derinlik kestirilir. Ancak tek banda dayalı olan bu kestirim, dip albedosuna bağlıdır. Yani dip albedosundaki değişim, kestirilen derinliğe etki etmektedir. Örneğin, sığ suda bulunan ve düşük albedoya

sahip bir deniz çayırı alanı, bu kestirimde yüksek su derinliğine sahip alanlar olarak hesaplanır.

$$L(z) = L(0)\exp(-Kz) \quad (2.3)$$

$$R_w = (A_d - R_\infty) \exp(-gz) + R_\infty \quad (2.4)$$

$$z = g^{-1}[\ln(A_d - R_\infty) - \ln(R_w - R_\infty)] \quad (2.5)$$

Tek bant yerine iki bant kullanıldığı durumda, derinlik kestirilirken dip albedosu için de düzeltme yapmak mümkündür. Böylelikle Eşitlik 2.6 iki spektral bant üzerinde uygulanarak, dip albedosundan bağımsız derinlik kestirilebilir. Bu eşitlikteki X_i ve X_j değişkenleri, Eşitlik 2.7 kullanılarak hesaplanır.

$$Z = a_0 + a_i X_i + a_j X_j \quad (2.6)$$

$$X_i = \ln[R_w(\lambda_i) - R_\infty(\lambda_j)] \quad (2.7)$$

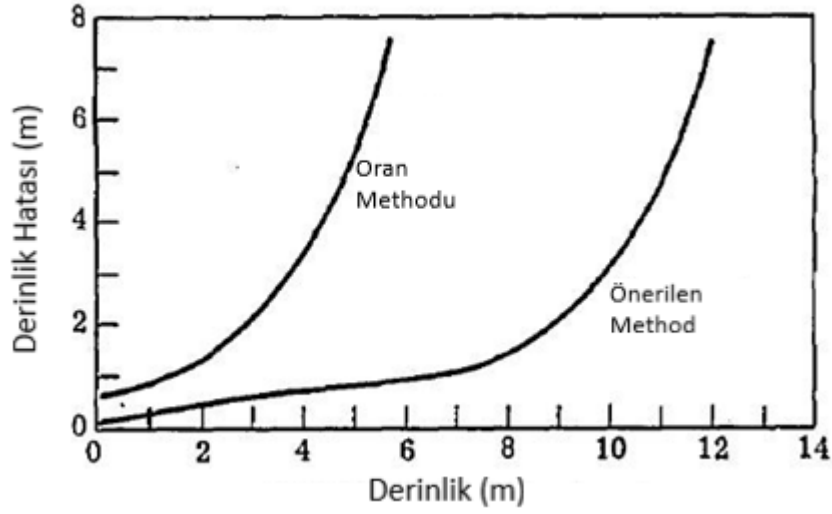
a_0 , a_i ve a_j sabitleri çoklu regresyon analizi veya benzeri yöntemler ile hesaplanır. Bunun dışında su berraklığı ve spektral değişiklikler ilave komplikasyonlara sebep olmaktadır. Lineer dönüşüm yöntemi bu 5 parametre ($R_w(\lambda_i)$, $R_\infty(\lambda_j)$, a_0 , a_i , a_j) deneysel olarak belirlenmelidir. Su kalitesinde ufak değişimler gösteren büyük alanlar için bu 5 parametrenin belirlenmesi problem yaratabilmektedir.

Lyzenga, 1978 modelinde en küçük zayıflama katsayısına sahip olan spektral bantlar seçildiği için derinlik hataları genel olarak minimize edilmiştir. Lyzenga, 1978 modelinin güvenilirliği oran yöntemi ile karşılaştırılarak test edilmiştir (Şekil 2.9). Şekil 2.9'a göre Lyzenga, 1978 modeli 8 metre derinliğe kadar yüksek derinlik doğruluğu ile sonuçlar üretmektedir. 9 metreden sonra hata miktarı ciddi bir şekilde artmaktadır.

2.2.1.2 Philpot, 1989 Modeli

Bu yöntemde üç farklı senaryo üzerine incelemeler ve analizler yapılmıştır. İlk senaryo değişken derinlik - diğer parametreler sabit, ikinci senaryo değişken derinlik ve reflektans, üçüncü senaryo ise değişken derinlik, dip türü ve su türü

üzerine kurulmuştur. Üç senaryoda da Eşitlik 2.8'e göre dönüştürülmüş radyans değerleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.9 Kum, çamur, bitki dip tiplerinde önerilen yöntem ve oran yönteminin derinlik hataları grafiği [113]

$$L_d = L_b \exp(-gz) + L_w \quad (2.8)$$

Bu eşitlikte L_d algılayıcıdaki radyans, g zayıflama katsayısı, z derinlik, L_b dip reflektansına duyarlı radyans ve L_w optik derinlikteki radyans olarak ifade edilmektedir.

İlk senaryoya göre L_d 'nin L_w 'den büyük olması durumunda Eşitlik 2.9, L_d 'nin L_w 'den küçük olması durumunda ise Eşitlik 2.10 ile derinlik hesaplanır.

$$X = \ln(L_d - L_w) = \ln(L_b) - gz \quad (2.9)$$

$$X = \ln(L_w - L_d) = \ln(-L_b) - gz \quad (2.10)$$

Eşitlik 2.9 ve 2.10 tek spektral bant ile derinlik kestirimi için uygulanır. Bu eşitlikler için L_d , L_w ve g 'nin kesin değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Mükemmel koşullarda dahi derinlik kestirimi bu değerlere karşı oldukça duyarlıdır. Bu durum için Brown vd. [118] bir dönüşüm modeli önermektedir (Eşitlik 2.11). Bu modeldeki a rastgele katsayı vektörü olarak ifade edilmektedir.

$$Y = a \times X = a \times \ln(L_b) - (a \times g)z \quad (2.11)$$

Değişken derinlik ve reflektans varsayımı üzerine kurulan ikinci senaryoya göre bu a vektörü ve Y sırasıyla Eşitlik 2.12 ve 2.13'e göre hesaplanır.

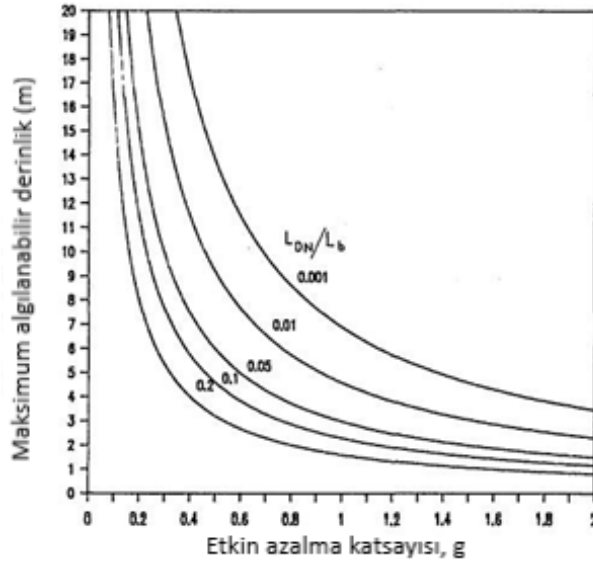
$$a \times \ln(L_b) = Sabit \quad (2.12)$$

$$Y_b = a_b \times X = -(a_b \times g)z \quad (2.13)$$

Son senaryoda, en zorlayıcı koşul su türünü değişmesidir. Farklı türlerinin spektral olarak oransal olduğu varsayılarak Eşitlik 2.14 önerilmiştir. Fakat üç farklı su türünde yapılan denemelerde su türlerinin orantısal koşulu sağlamadığı görülmüştür ve başarılı sonuçlar elde edilememiştir.

$$\frac{g_1(\lambda_1)}{g_1(\lambda_2)} = \frac{g_2(\lambda_1)}{g_2(\lambda_2)} \quad (2.14)$$

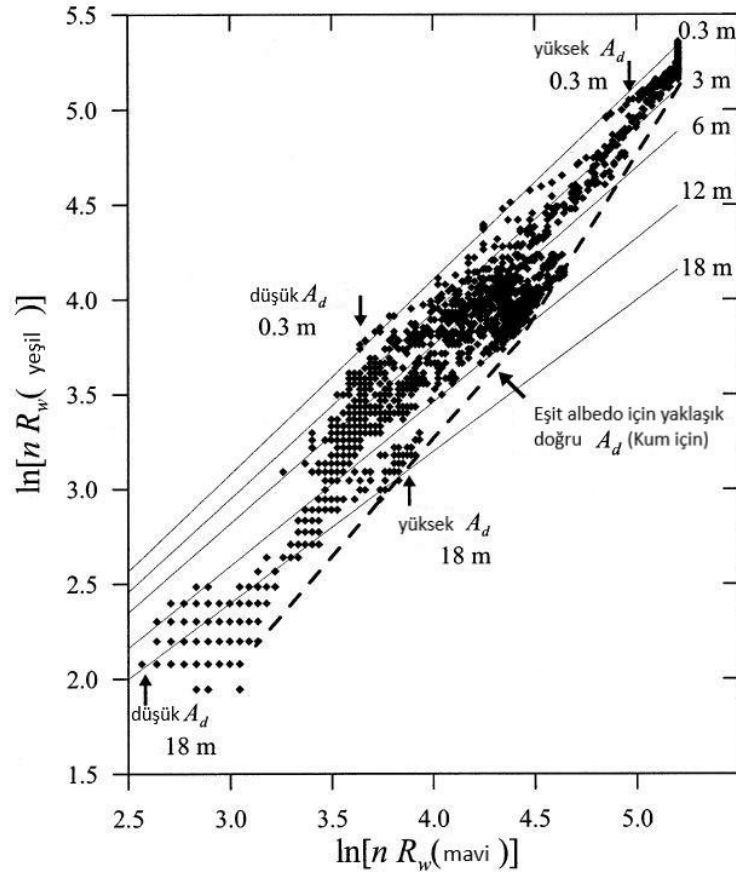
Philpot, 1989 modeline göre su kalitesi ve atmosferik koşullar değişken olmadığı sürece uydu görüntülerinden derinlik kestirimi basit bir şekilde çözülmektedir. Şekil 2.10'da algılayıcıdaki radyansdan optik derindeki radyans farkının dip reflektasına duyarlı radyansa oranına göre derinlik algılama limiti verilmiştir.



Şekil 2.10 Farklı zayıflama katsayılarına göre maksimum algılanabilen derinlik değerleri grafiği [114]

2.2.1.3 Stumpf, 2003 Modeli

Bu yöntem, bantların farklı su emilimlerine dayanmaktadır. Bantların farklı su emilimleri olacağı için, bir bant diğerine göre aritmetik olarak daha düşük değerlere sahip olacaktır (Şekil 2.11). Şekil 2.11’de bulunan sabit derinlik çizgileri sabit oran değerlerini ifade ediyor (0.3 m mavinin yeşile oranı 0.975; 18 m ise of 1.251). Kesikli çizgi tüm derinliklerde aynı beyazlık derecesine sahip kum için kestirilen orandır. Derinlikle birlikte ışığın azalması, derin sudaki objelerin beyazlık derecesine bağlı olmadan düşük su reflektansına sahip olacağı anlamına gelmektedir. Albedodaki düşüş sabit oran çizgilerinin alt kısımlarına doğru gitmeyi ifade eder. Yüksek albedo 0.3 metrede de 18 metrede de benzer albedoya sahip olan karbonat kumunu ifade eder. Düşük albedo ise su yosunu alanını ifade eder.



Şekil 2.11 Mavi ve yeşil bantların derinlik ve dip türüne göre logaritmik emilim oranları grafiği [115]

Derinlik arttıkça iki bandında reflektans değerleri azalacaktır. Ancak yeşil bandın reflektans değerleri, mavi banda oranla daha hızlı azalır. Buna bağlı olarak mavi

bandın yeşil banda oranı derinlik arttıkça artacaktır. Bununla birlikte, dip albedosundaki değişiklik iki bandı da etkilemektedir, fakat yeşil bant bu değişimden daha fazla etkilenmektedir. Dolayısıyla, derinliğin bant oranına etkisi, dip değişiminden daha fazladır ve böylece aynı derinlikteki iki farklı dip albedosu aynı orana sahip olurlar.

Bu orandan yola çıkılarak, dip albedosundan bağımsız olarak Eşitlik 2.15 ile derinlik kestirilebilir. Ancak sonuçlar m_1 ayarlanabilir sabiti ile karşılıklı derinlik değerlerinden gerçek derinliğe ölçeklenmelidir. Eşitlikteki n değeri, her koşulda logaritmanın pozitif olması ve oranın derinlikle birlikte lineer bir yanıt üretmesi için kullanılır. m_0 ise ofset değerini ifade eder.

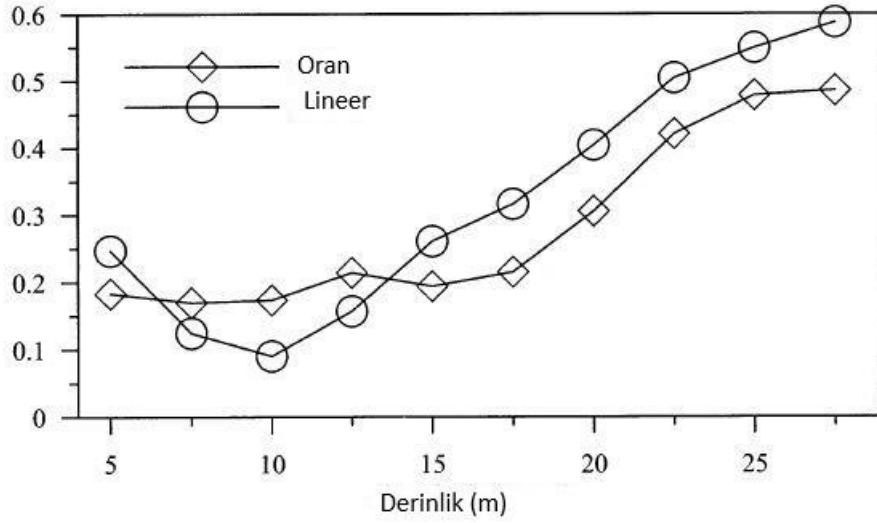
$$Z = m_1 \frac{\ln(nR_w(\lambda_i))}{\ln(nR_w(\lambda_j))} - m_0 \quad (2.15)$$

Bir çalışma alanında Stumpf, 2003 modeline (oran dönüşüm modeli) göre elde edilen doğruluklar lineer dönüşüm modeline göre karşılaştırılmıştır (Şekil 2.12). 15 metre altındaki bölgelerde iki yöntem de referans verisi olan LiDAR verisine eşleşen sonuçlar üretmiştir. Lineer dönüşüm modeli 15 metre üzerindeki bölgelerde derinlik kestirememektedir ve bu model, genel olarak dip değişiminden fazlasıyla etkilenmektedir. Oran değişim modeli ile 25 metreye kadar derinlik kestirebilmekte ve yüzey değişimine karşı daha istikrarlı sonuçlar vermektedir. Kirlilik olan bölgelerde de oran dönüşüm modeli lineer değişim modeline göre daha iyi performans göstermektedir. 15 metreden daha derin bölgelerde oran dönüşüm modeli gürültülü sonuçlar üretmektedir ve morfolojik bilgisini koruyamamaktadır.

2.2.1.4 Lyzenga, 2006 Modeli

Bu derinlik kestirim algoritmasında basitleştirilmiş bir reflektans modeli kullanılmaktadır. Bir h derinliğindeki su için sualtı reflektansı Eşitlik 2.16'e göre hesaplanır. Bu eşitlikte E_i suya giren iradyans, L_r sudan çıkan radyans, r_v su kolonundaki saçılma, r_b dip reflektansı ($r_b^* = r_b - r_v$), α ise zayıflama katsayısı olarak ifade edilmektedir. Bu modelde atmosferik düzeltmeye ek olarak, yakın kızılötesi bant kullanılarak güneş parıltı düzeltmesi de uygulanmaktadır. Güneş parıltı

düzeltilmesi uygulanmış bantlara sahip görüntü üzerinde Eşitlik 2.17 uygulanarak derinlik hesaplanabilir.



Şekil 2.12 Normalleştirilmiş karesel ortalama hatalarının yöntemlere göre dağılım grafiği [115]

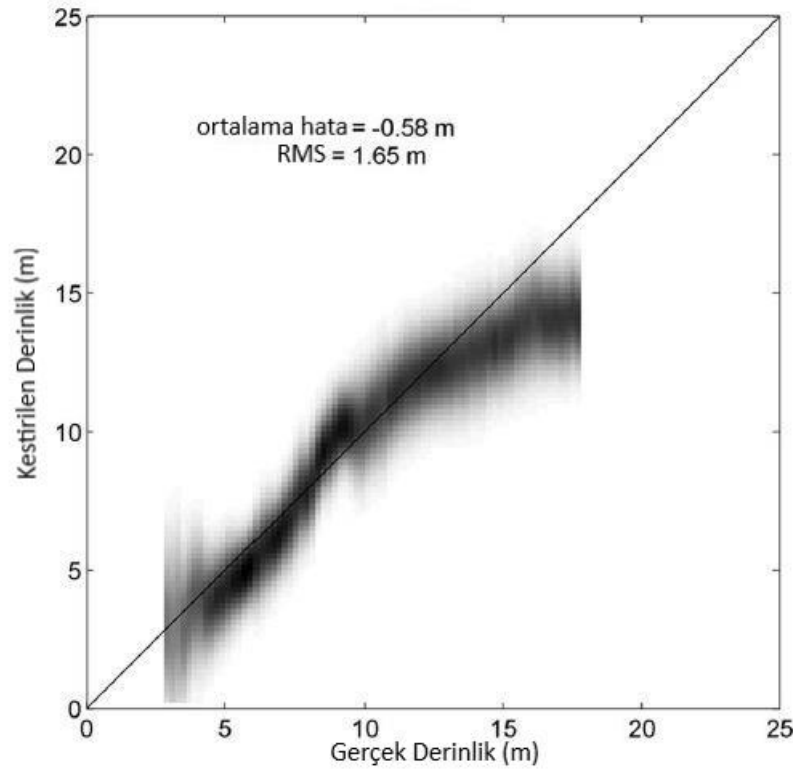
$$R(h) = \frac{\pi L^-}{E_i^-} = r_v + r_b^* e^{-\alpha h} \quad (2.16)$$

$$\hat{h} = h_o - \sum_{j=1}^N h_j X_j \quad (2.17)$$

Lyzenga, 2006 modeli arazi verileri kullanılarak 8 farklı çalışma alanında test edilmiştir. Şekil 2.13'de çalışma alanlarından birine ait kestirilmiş ve gerçek derinlik grafiği görülmektedir. Bu çalışma alanında 15 metrenin üzerindeki derinlikler olduğundan daha sık olarak kestirildiği gözlemlenmiştir. Tüm çalışma alanlarına ait veri setlerinin karesel ortalama hatası 2.3 metre olarak hesaplanmıştır.

Optik uzaktan algılama görüntülerinden derinlik kestirimi Lyzenga'nın 1978 yılında geliştirdiği yöntemden itibaren sık alanlarda etkin bir biçimde kullanılmaktadır. Uydu sistemlerinin gelişmesiyle birlikte bu tarihten itibaren literatürde kabul gören yeni yöntemler bilim adamları tarafından geliştirilmiştir. Genel olarak bu yöntemler ışığın suya nüfuz etme kapasiteyle limitlidir. Bu durum da direkt olarak su kirliliği ile bağlantılıdır. Bunun dışında elde edilen derinlikler karşılıklı değerlerdir. Üretilen

sonucun doğruluğunu test etme ve mutlak değerleri elde etmek için arazi verileri gereklidir.

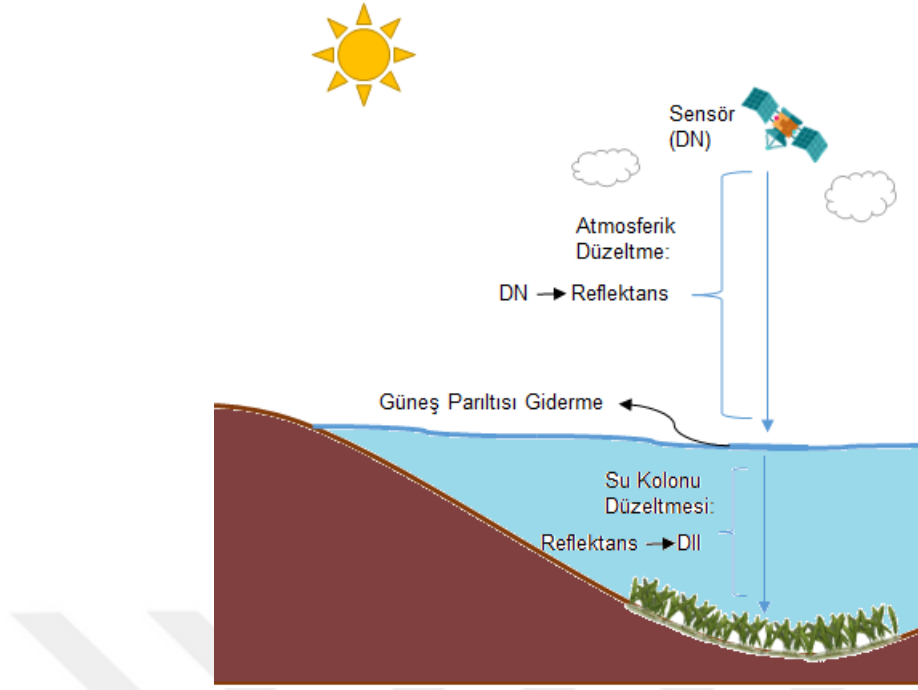


Şekil 2.13 Sekiz çalışma alanından birine ait kestirilmiş ve gerçek derinlikler [116]

2.2.2 Uydu Görüntülerinden Bentik Habitat Haritalama

Optik uydu görüntüleri pankromatik, multispektral ve hiperspektral olmak üzere farklı spektral çözünürlük tiplerine sahiptir. Uydu görüntülerinde elektromanyetik spektrumda kaydedilen dalga boyu aralıkların sayısı arttıkça, ayırt edilebilirlik artmaktadır. Fakat suya sadece elektromanyetik spektrumun görünür bölgesi yeteri kadar nüfuz edebilmektedir. Bu nedenle, bu tip çalışmalarda genellikle elektromanyetik spektrumun görünür bölgesini kapsayan bantlar kullanılmaktadır.

Su altı, kara gibi doğrudan gözlemlenemediğinden, uydu görüntülerini ham olarak analiz etmek yanıltıcı sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle bentik habitat çalışmalarında literatürdeki birçok çalışmada görüldüğü gibi, optik uydu görüntülerine bazı ön işleme adımlarının uygulanması gerekmektedir. Şekil 2.14'te görüldüğü üzere bu adımlar atmosferik düzeltme, güneş parıltısı düzeltmesi ve su kolonu düzeltmesi olmak üzere üç adımda özetlenebilir.



Şekil 2.14 Bentik çalışmalarda kullanılan optik uydu görüntülerine uygulanması gereken ön işleme adımları (DN: Digital numbers, DII: Depth invariant index)

2.2.2.1 Atmosferik Düzeltme

Uydu görüntülerinde ham halde bulunan dijital sayılar (digital numbers) güneş radyasyonuna maruz kaldığından, bu değerler atmosferik etkileri de içermektedir. Yüzeyle reflektansının elde edilebilmesi için bu atmosferik etkilerin giderilmesi gerekmektedir.

Literatürde deneysel çizgi metodu, ışınımsal transfer metotları (ATCOR, MODTRAN) ve koyu piksel çıkarımı gibi birçok atmosferik düzeltme yöntemi bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında Moderate Resolution Atmospheric Transmission (MODTRAN) modelini kullanan ENVI görüntü analizi yazılımındaki Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes (FLAASH) aracının kullanılması planlanmıştır.

Uydu görüntüsünden atmosferik etkilerin giderilmesi için su buharı, aerosol ve görüş menzili gibi bilgilerin bilinmesi gerekmektedir. FLAASH aracı bu bilgileri MODTRAN içerisinde bulunan 6 atmosferik modelden konumsal olarak en uygunundan yararlanarak elde eder. Atmosferik modellerdeki standart su buharı

miktarları ve yüzey hava sıcaklıkları ile enlem ve mevsime göre uygun olan atmosferik model listesi sırasıyla Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.1 MODTRAN atmosferik modellerinin su buharı ve yüzey hava sıcaklıkları [119]

Atmosfer Modeli	Su Buharı (g/cm ²)	Yüzey Hava Sıcaklığı
Kutup Altı Kış (KAK)	0.42	-16 °C
Orta Enlem Kış (OEK)	0.85	-1 °C
ABD Standart (ABS)	1.42	15 °C
Kutup Altı Yaz (KAY)	2.08	14 °C
Orta Enlem Yaz (OEY)	2.92	21 °C
Tropik (T)	4.11	27 °C

Tablo 2.2 Enlem ve mevsime göre uygun MODTRAN atmosferik modelleri [119]

Enlem (°N)	Ocak	Mart	Mayıs	Temmuz	Eylül	Kasım
80	KAK	KAK	KAK	OEK	OEK	KAK
70	KAK	KAK	OEK	OEK	OEK	KAK
60	OEK	OEK	OEK	KAY	KAY	OEK
50	OEK	OEK	KAY	KAY	KAY	KAY
40	KAY	KAY	KAY	OEY	OEY	KAY
30	OEY	OEY	OEY	T	T	OEY
20	T	T	T	T	T	T
10	T	T	T	T	T	T
0	T	T	T	T	T	T
-10	T	T	T	T	T	T
-20	T	T	T	OEY	OEY	T
-30	OEY	OEY	OEY	OEY	OEY	OEY
-40	KAY	KAY	KAY	KAY	KAY	KAY
-50	KAY	KAY	KAY	OEK	OEK	KAY
-60	OEK	OEK	OEK	OEK	OEK	OEK
-70	OEK	OEK	OEK	OEK	OEK	OEK
-80	OEK	OEK	OEK	KAK	OEK	OEK

FLAASH aracı girdi olarak radyans görüntüsüne ihtiyaç duyduğu için, ilk adım olarak dijital sayılardan radyans değerlerine dönüşüm yapılmalıdır. Bu dönüşüm Eşitlik 2.18’e göre yapılır. Bu eşitlikte L_λ spektral radyansı, M_L radyans çarpımsal ölçek

faktörünü, Q_{cal} dijital sayı olarak piksel değerini ve A_L radyans toplamsal ölçek faktörünü ifade eder.

$$L_\lambda = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (2.18)$$

Elde edilen algılayıcıdaki spektral radyans değerleri kullanılarak, Eşitlik 2.19 kullanılarak algılayıcıdaki her bir bant için piksel yüzey reflektansları hesaplanır. Bu eşitlikte ρ yüzey piksel reflektansını, ρ_e piksel ve çevresinin ortalama yüzey reflektansını, S atmosfer albedosunu, L_a atmosferden saçılan radyans, A ve B ise atmosferik ve geometrik koşullara bağlı katsayıları ifade etmektedir. A , B , S ve L_a değişkenleri su buharı miktarına oldukça bağlıdır. Bu değişken MODTRAN hesaplamaları ile belirlendiği için, çalışma alanına uygun atmosferik modelin seçimi oldukça önemlidir.

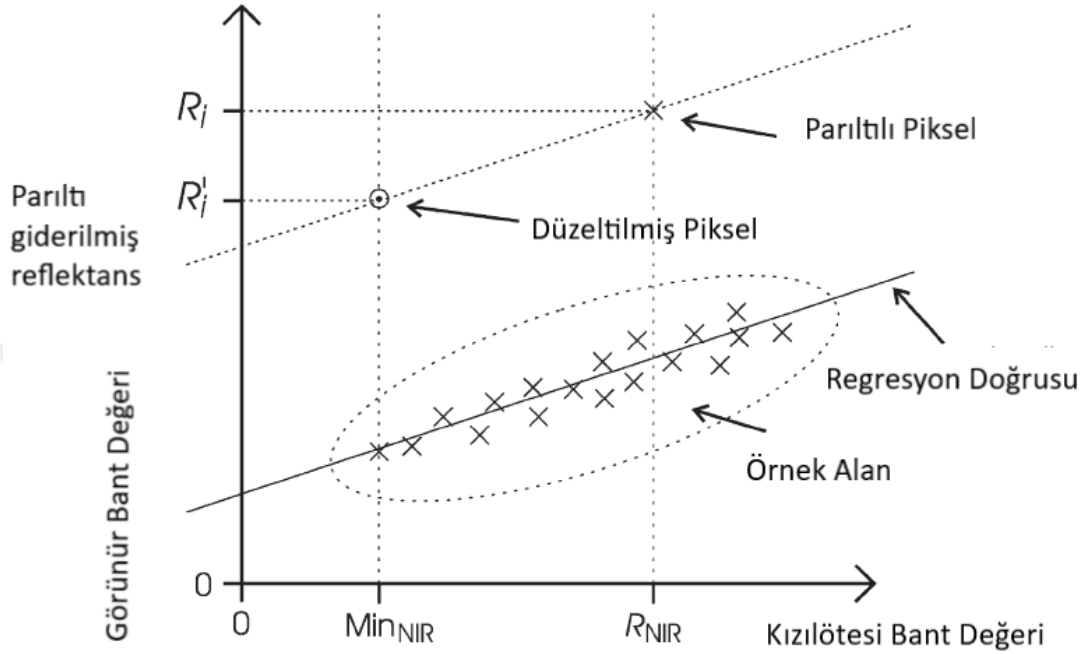
$$L_\lambda = \left(\frac{A\rho}{1 - \rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad (2.19)$$

2.2.2.2 Güneş Parıltısı Giderme

Bazı durumlarda algılayıcı tarafından kaydedilen değerler su yüzeyindeki güneş parıltısından etkilenebilir. Değerlerdeki bu etkilerin giderilmesi için, görünür bölgedeki bantlarda güneş parıltısı düzeltilmesi uygulanır. Bu düzeltme için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri Hedley vd. [120] tarafından geliştirilen metottur. Bu metot yakın kızılötesi bandında ölçülen güneş parıltısı miktarı ile görünür bölgedeki bantlardaki güneş parıltısı miktarının doğrusal olarak ilişkili olduğu varsayımına dayanmaktadır. Homojen güneş parıltısının mevcut olmadığı genellikle derin suya ait örnek bir takım pikseller kullanarak kızılötesi parlaklığı ve görünür bölge bantları parlaklığı arasında bir regresyon uygulanır (Şekil 2.15). Diğer pikseller için bu regresyon doğrusunun eğimi kullanılarak, görünür bölgedeki bantların parlaklığı kestirilir (Eşitlik 2.20). Bu eşitlikte R'_i güneş parıltısı düzeltilmiş pikseli, R_i parıltılı pikseli, b_i i bandı için regresyon eğimini, R_{NIR} kızılötesi piksel değerini ve Min_{NIR} ise çevreleyen kızılötesi değerini ifade etmektedir.

$$R'_i = R_i - b_i(R_{NIR} - Min_{NIR}) \quad (2.20)$$

Güneş parıltısı etkileri giderildikten sonra, su kolunu düzeltmesi aşamasına geçmeden önce görüntü sadece ilgili su alanını kapsayacak şekilde kesilmelidir. Bu işlemin literatürde bazı çalışmalarda atmosferik düzeltmeden hemen sonra ya da doğrudan ham görüntü üzerini de uygulandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 2.15 Güneş parıltısı giderme metodunun grafiksel gösterimi [120]

2.2.2.3 Su Kolunu Düzeltmesi

Su kolunu düzeltmesi, optik uydu görüntülerinde su yüzeyi ve deniz tabanı arasındaki bölgenin dip reflektansına olan etkisinin giderilmesidir (Şekil 2.14). Literatürde multispektral görüntülerde bu düzeltme için bant kombinasyonu algoritmaları [113, 121, 122] ve model tabanlı cebirsel algoritmalar [123, 124] mevcuttur. Bu algoritmalarından Lyzenga, 1981 [121] su altı uzaktan algılama çalışmalarında kullanılan en sık yöntemlerden biridir. Bu yöntem görünür bölgedeki bantların sudaki emilim oranlarından yola çıkarak derinlikten bağımsız indeksler oluşturmaya dayanmaktadır. Bu oran dip türünün değişiklik göstermediği (genellikle kum) ve değişken bir derinliğe sahip örnek bir bölge baz alınarak Eşitlik 2.21'e göre hesaplanır.

$$\frac{K_i}{K_j} = a + \sqrt{(a^2 + 1)} \quad (2.21)$$

Bu eşitliğe göre i bandının j bandına göre emilim oranı (K_i/K_j) hesaplanır. Hesaplamadaki a değişkeni ise Eşitlik 2.22'ye göre hesaplanır.

$$a = \frac{\sigma_{ii} - \sigma_{jj}}{2\sigma_{ij}} \quad (2.22)$$

Bu eşitlikte σ_{ii} değişkeni i bandındaki reflektans değerlerinin varyansını, σ_{jj} değişkeni j bandındaki reflektans değerlerinin varyansını, σ_{ij} ise i bandındaki reflektans değerleri ile j bandındaki reflektans değerlerinin kovaryansını ifade eder. σ_{ij} Eşitlik 2.23'e göre hesaplanır.

$$\sigma_{ij} = \overline{X_i X_j} - \overline{X_i} \overline{X_j} \quad (2.23)$$

Bu eşitlikte X_i ve X_j baz alınan örnek alana ait i ve j bandındaki reflektans değerlerini ifade eder. Bu hesaplar sonucunda a değeri ve buna bağlı olarak iki bandın emilim oranı belirlenmiş olur. Emilim oranından yola çıkılarak Eşitlik 2.24'e göre bu iki banttan derinlikten bağımsız indeks (Y_{ij}) üretilmiş olur. Derinlikten bağımsız indeks her bir bant ikilisi için iteratif olarak hesaplanır. Örneğin; X_{ijk} üç bantlı görüntüsü için, Y_{ij} , Y_{ik} ve Y_{jk} indeksleri hesaplanmalıdır.

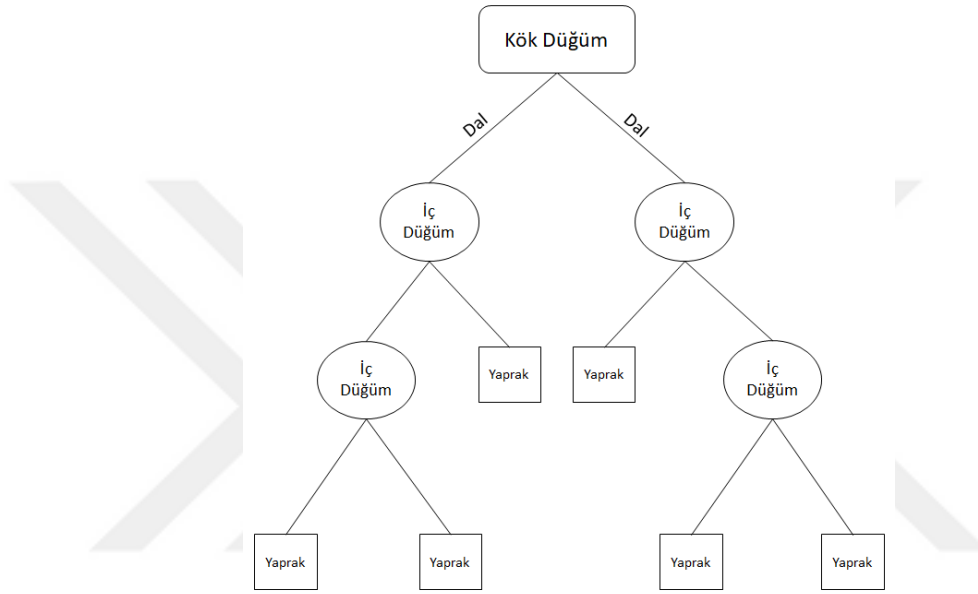
$$Y_{ij} = X_i - \left(\frac{K_i}{K_j} X_j \right) \quad (2.24)$$

2.2.2.4 Sınıflandırma

Derinlikten bağımsız indekslerin oluşturulmasıyla birlikte görüntü su altı sınıflandırması için uygun hale gelmiş bulunmaktadır. Literatürde su altı çalışmalarında kullanılan (i) piksel ve obje tabanlı, (ii) kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere birçok sınıflandırma yöntemi mevcuttur. Bununla birlikte, son yıllarda uzaktan algılama çalışmalarında makine öğrenmesi tekniklerinin sıklıkla kullanılmaya başlandığı ve yaygınlaştığı gözlemlenmiştir. Bunların başında derin öğrenme, karar ağaçları, DVM gibi yöntemler gelmektedir.

2.2.2.4.1 Rastgele Orman

Karar ağaçları tümevarım yöntemi ile öğrenme gerçekleştirerek, ağaç görünümlü hiyerarşik bir karar yapısına sahip olan denetimli bir makine öğrenmesi yöntemidir. Karar ağaçları düğüm, dal ve yaprak olmak üzere üç birimden oluşmaktadır (Şekil 2.16). Literatürde sınıflandırma ve regresyon ağacı gibi farklı tiplerde karar ağaçları bulunmaktadır. Bunların yanında birden fazla metodu kullanarak birden fazla karar ağacı üreten teknikler de mevcuttur.



Şekil 2.16 Karar ağacı birimleri ve hiyerarşisi

Ağaç tabanlı topluluk olarak adlandırılan bu yöntem farklı karar ağaçlarının tahminlerini oylayarak sonuca ulaşır. RO algoritması literatürde en sık kullanılan ağaç tabanlı öğrenme yöntemlerinden biridir.

Breiman [125] tarafından 2001 yılında geliştirilmiş olan RO yöntemi hızlı, az girdi parametreye ihtiyaç duyan, çok boyutlu problemlerin çözümünde kullanılmakta ve eş zamanlı olarak uygulanabilmektedir. Karar ormanındaki her ağaç veri setinden rastgele seçilen niteliklerle oluşturulmaktadır. Bu rastgele seçim yapılırken bootstrap örneklem yöntemi kullanılır. Seçilen niteliklerden ağaç gelişimi Classification and Regression Tree (CART) algoritmasına göre yapılmaktadır. CART algoritması en iyi öznelik seçimi için Gini İndeksini kullanır. Karar verme aşamasında bütün ağaçların sınıf tahminleri incelenir ve en çok oyu alan sınıf karar

ormanının sonucu olarak belirlenir. Karar ağaçları oluşturulurken budama yapılmaz, ağaç maksimum boyutundadır [125].

RO modelinde oluşturulacak ağaç sayısı ve rastgele seçilecek olan değişken sayısı olmak üzere iki parametre bulunmaktadır. Ağaç oluşturmak için kullanılan veriler test verileri ve eğitim verileri olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

RO modelinde sınıflandırma ağaçları şu şekilde oluşturulmaktadır;

1. N sayıda eğitim verisi için orijinal veriden rastgele N sayıda veri toplanır.
2. Eğer M tane girdi veri var ise, her bir düğüm için $m < M$ olacak şekilde rastgele m sayısı belirlenir. Ormandaki tüm ağaçlar için m değeri sabittir.
3. Ağaç mümkün olan en büyük ölçüde gelişir.

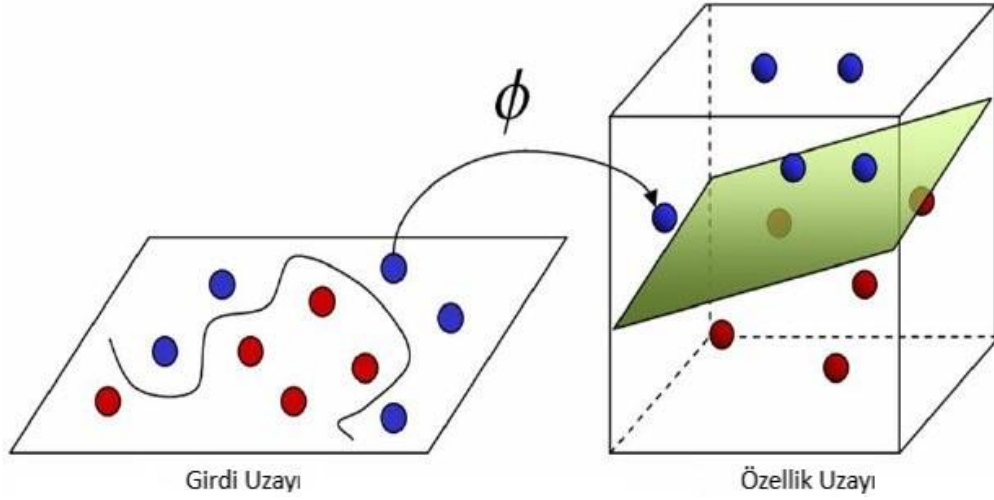
Bu basamaklar belirlenen ağaç sayısı kadar tekrarlanır.

Ağaç yapıları oluşturulurken oluşabilecek hata oranı 2 ağaç arasındaki korelasyon ve her bir ağacın dayanıklılığına bağlıdır. İki ağaç arası korelasyon artarsa orman hata oranı artar, her ağacın bireysel dayanıklılığı artarsa orman hata oranı düşer. Korelasyon ve hata oranının değeri m sayısına bağlıdır. m sayısının azaltılması korelasyon ve dayanıklılığın azalmasına, artırılması ise artmasına neden olmaktadır [125].

2.2.2.4.2 Destek Vektör Makineleri

Cortes ve Vapnik [126] tarafından 1995 yılında geliştirilen DVM denetimli bir makine öğrenme algoritmasıdır. Bu yöntem iki sınıflı birbirinden ayırabilecek en uygun hiper düzlemin belirlenmesi üzerine dayanmaktadır. Bu yöntem uygulandığı veri tipine göre farklılık göstermektedir. Veri tipleri doğrusal olarak ayrılabilen, doğrusal olarak belirli oranda hata ile ayrılabilen ve doğrusal olarak ayrılamayan veriler olarak özetlenebilir. Uydu görüntüsü sınıflandırması amacıyla kullanılan DVM, bunlardan doğrusal olarak ayrılamayan veri tipine girer.

Doğrusal olarak ayrılamayan problemlerin çözümü için kullanılan yöntem orijinal girdi uzayını daha yüksek boyutlu bir uzaya taşıyarak (ϕ) sınıflandırma işlemidir (Şekil 2.17)



Şekil 2.17 Doğrusal olmayan DVM [127]

İki sınıflı, n elemanlı bir eğitim verisinin doğrusal olarak ayrılabilirliği ve tanımının $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n), x \in R^d, y \in (-1, +1)$ olduğu kabul edilirse:

Bir hiperdüzlem;

$$w \cdot x_i + b = 0,$$

optimum hiperdüzleme ait eşitsizlikler;

$$w \cdot x_i + b \geq +1 \text{ her } y_i = +1 \text{ için}$$

$$w \cdot x_i + b \leq -1 \text{ her } y_i = -1 \text{ için}$$

olarak tanımlanır. Burada $x \in R^d$ olup d -boyutlu bir uzayı, $y \in (-1, +1)$ ise sınıf etiketlerini, w ağırlık vektörünü (hiper-düzlemin normali) ve b sapma değerini göstermektedir.

Her iki düzlem arasındaki mesafe ise (belirlenen sınırın uzunluğu) $\frac{2}{\|w\|}$ olarak tanımlanır.

Her iki düzlem arasındaki mesafeyi yani sınır değerini maksimum hale getirmek için $\|w\|$ ifadesinin en küçük değerini bulmamız gerekmektedir. Bunun için ise aşağıdaki sınırlı optimizasyon probleminin çözülmesi gerekmektedir.

$$\min \left[\frac{1}{2} \|w\|^2 \right]$$

Optimizasyon problemine bağlı sınırlamalar ise şu şekildedir;

$$y_i (w \cdot x_i + b) - 1 \geq 0 \text{ ve } y_j \in (-1, 1)$$

Bu optimizasyon probleminin çözümü için Langrange denklemleri kullanılır. Problemin Langrange fonksiyonu Eşitlik 2.25'te görülmektedir.

$$L_P = \left[\frac{1}{2} \|w\|^2 \right] - \sum_{i=1}^k (\alpha_i y_i (w x_i + b)) + \sum_{i=1}^k \alpha_i \quad (2.25)$$

En iyi (optimum) ayırıcı hiper düzlem Eşitlik 2.26 ile elde edilir.

$$f(x) = \sum (a_i y_i x_i) + b = 0 \quad (2.26)$$

Doğrusal olarak ayrılabilen verilerde ise özellik uzayı $\phi(x) \in R^f$ olarak tanımlanır. Dönüştürülmüş uzayda karar fonksiyonuna ait eşitsizlikler şu şekildedir:

Bir hiperdüzlem;

$$w \cdot \phi(x_i) + b = 0$$

optimum hiperdüzleme ait eşitsizlikler;

$$w \cdot \phi(x_i) + b \geq +1 \text{ her } y_i = +1 \text{ için}$$

$$w \cdot \phi(x_i) + b \geq -1 \text{ her } y_i = -1 \text{ için}$$

olarak tanımlanır. Çözülmesi gereken optimizasyon problemi $\min \left[\frac{1}{2} \|w\|^2 \right]$ şeklindedir. Optimizasyon problemine bağlı sınırlamalar ise şu şekilde ifade edilir:

$$y_i (w \cdot \phi(x_i) + b) - 1 \geq 0 \text{ ve } y_j \in (-1, 1)$$

Bu durumda w ve b parametreleri sırasıyla Eşitlik 2.27 ve Eşitlik 2.28 ile belirlenir. Bu çözümler yüksek boyutlu uzaydaki fonksiyonların çarpımlarını içerir. Orijinal girdi uzayının daha yüksek boyuta taşınması işlem karmaşıklığına neden olmaktadır. Bu nedenle işlemi daha basit hale getirmek için çekirdek (kernel) fonksiyonlar kullanılır.

$$w = \sum \alpha_j y_j \phi(x_j) \quad (2.27)$$

$$f(x) = \left(\sum \alpha_j y_j \phi(x_i) \phi(x_j) \right) + b \quad (2.28)$$

Çekirdek fonksiyonu ve buna bağlı olarak karar fonksiyonu sırasıyla Eşitlik 2.29 ve Eşitlik 2.30'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$K(x_i, x_j) = \phi(x_i) \cdot \phi(x_j) \quad (2.29)$$

$$f(x) = (\sum \alpha_j y_j \phi(x_i) \phi(x_j)) + b = \sum a_i y_i K(x_i, x_j) + b \quad (2.30)$$

Lineer (doğrusal), polinom, radyal tabanlı ve sigmoid çekirdekleri DVM'de en çok kullanılan çekirdek fonksiyonlarıdır (Tablo 2.3). $K(x_i, x_j)$ çekirdek fonksiyonunu, d polinom derecesini, b sapma parametresini, γ gamma parametresini ve C düzenleme (penalty) parametresi temsil etmektedir.

Tablo 2.3 DVM'de kullanılan çekirdek modelleri

Çekirdek Türü	Matematiksel Model
Doğrusal	$K(x_i x_j) = x_i x_j$
Polinom	$K(x_i x_j) = (\gamma(x_i x_j) + b)^d, \gamma > 0, \delta > 0$
Radyal Tabanlı	$K(x_i x_j) = \exp(-\gamma \ x_i x_j\ ^2), \gamma > 0$
Sigmoid	$K(x_i x_j) = \tanh(\gamma(x_i x_j) - b), \gamma > 0, \delta > 0$

2.3 Çok Ölçütlü Karar Verme

Çok ölçütlü karar verme, birçok ölçütü içeren karar problemlerinde en iyi alternatifin seçilmesine yardımcı olan bir karar destek sistemidir. Karar problemi veya ölçütlerin coğrafi boyutları mevcut ise; problem, coğrafi bilgi sistemleri ile karar destek sistemlerinin entegrasyonu olan mekânsal karar destek sistemi ile analiz edilir. CBS ile entegre edilebilen literatürde çeşitli karar destek sistemi yöntemleri mevcuttur. Başlıca yöntemler ise Weighted Linear Combination, Weighted Product Method, AHP, TOPSIS, ELECTRA vd. olarak sıralanabilir.

AHP birçok farklı bilim alanında, ulusal ve uluslararası çalışmalarda kullanılan bir karar verme yöntemidir. Sismik istasyon [128], rüzgar enerjisi istasyonu [129],

tarımsal faaliyetler [130], su kuşları habitatı [131] için uygun yer tespiti literatürdeki örnek çalışmalardan bazılarıdır.

AHP bu karar verme problemlerini hiyerarşik bir yapıya sokarak ikili karşılaştırmayla optimum şekilde karar verdirmeyi amaçlayan bir analiz yöntemidir. Saaty [132] tarafından geliştirilen yöntem bir hiyerarşi şeması şeklinde, matrisler ve karar aşamalarını lineer cebir ile formülize ederek değerlendirme yapar. AHP bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve önsezilerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yaklaşımdır; bu nedenle sürecin bu aşamasında uzman görüşü önem taşımaktadır.

Yöntemde ilk olarak karar probleminin amacı, yani çıkacak sonucun hangi amaca hizmet edeceği belirlenir. Daha sonra bu amacı gerçekleştirmek için en uygun ölçütler konuyla ilgili kişilerin de görüşleri alınarak belirlenir. Ölçüt belirleme aşamasında kurulacak sisteme göre alt ölçütler belirlenebilir. Ölçütler ikili karşılaştırmalara tabi tutulmakta, hedef doğrultusunda önem dereceleri belirlenmektedir. Önem dereceleri ve kavramsal karşılıkları Tablo 2.4'de sunulmuştur.

Tablo 2.4 AHP ikili karşılaştırma ölçeği

Önem Derecesi	Tanımı	Açıklaması
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki faaliyet de amaca eşit katkıda bulunur.
3	Orta Derecede Önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre biraz daha fazla tercih edilir.
5	Güçlü Derecede Önemli	Tecrübe ve değerlendirmeler sonucunda bir faaliyet diğerine göre çok daha fazla tercih edilir.
7	Çok Güçlü Derecede Önemli	Bir faaliyet diğerine göre çok güçlü şekilde tercih edilir. Uygulamada üstünlüğü ispatlanmıştır.
9	Son Derece Önemli	Bir faaliyet diğerine göre mümkün olan en yüksek derecede tercih edilir.
2, 4, 6, 8	Ara Değerler	Tercih değerleri birbirine yakın olduğunda kullanılır.

Uzman görüşü ya da ölçümlerle elde edilen önem dereceleri bir matrise dönüştürülür. Faktörler arası karşılaştırma matrisi, $n \times n$ boyutlu bir kare matristir. Burada n ölçüt sayısını ifade eder. Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler, yani $i=j$ olduğunda, 1 değerini alır. Çünkü bu durumda ilgili faktör kendisi ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma matrisi Eşitlik 2.31'deki gibidir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

İlk aşamada ikili olarak belirlenen karşılaştırmalar matrisine işlenir. Örneğin, birinci faktör üçüncü faktöre göre karşılaştırmayı yapan tarafından “Kuvvetli derecede önemli” görünüyorsa, bu durumda karşılaştırma matrisinin birinci satır üçüncü sütun bileşeni ($i=1, j=3$), 5 değerini alacaktır. Aksi durumda yani birinci faktörün üçüncü faktörle karşılaştırılmasında, “Kesin önemli” tercihi üçüncü faktörden yana kullanılacaksa, bu durumda karşılaştırma matrisinin birinci satır üçüncü sütun bileşeni 1/5 değerini alacaktır.

Karşılaştırma matrisi, faktörlerin birbirlerine göre önem seviyelerini göstermektedir. Ancak bu faktörlerin bütün içerisindeki ağırlıklarını, diğer bir deyişle yüzde önem dağılımlarını belirlemek için, normalize edilmiş A_{norm} matrisi oluşturulur. Bu matrisin her bir elemanı Eşitlik 2.32’ye göre, A matrisindeki her değer sütun toplamına bölünerek elde edilir.

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2.32)$$

A_{norm} matrisinden yararlanarak, faktörlerin birbirlerine göre önem değerlerini gösteren yüzde önem dağılımları elde edilebilir. Bunun için Eşitlik 2.33’te gösterildiği gibi A_{norm} matrisini oluşturan satır bileşenlerinin aritmetik ortalaması alınır ve Ölçüt Ağırlık Vektörü olarak adlandırılan W sütun vektörü (Eşitlik 2.34) elde edilir.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n A_{norm_{ij}}}{n} \quad (2.33)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

AHP kendi içinde tutarlı bir sistematığe sahip olsa da sonuçların gerçekçiliği doğal olarak, karar vericinin faktörler arasında yaptığı birebir karşılaştırmadaki tutarlılığa bağlı olacaktır. AHP bu karşılaştırmalardaki tutarlılığın ölçülebilmesi için bir süreç önermektedir. Hesaplanan Tutarlılık Oranı (CR) ile faktörler arasında yapılan birebir karşılaştırmaların tutarlılığının test edilebilmesi sağlanmaktadır. AHP, CR hesaplamasının özünü, faktör sayısı ile Temel Değer adı verilen (λ) bir katsayının karşılaştırılmasına dayandırmaktadır. λ ' nın hesaplanması için A karşılaştırma matrisi ile W öncelik vektörünün matris çarpımından elde edilen sütun vektörü elemanlarının ortalaması alınır (Eşitlik 2.35). Hesaplanan λ değerı kullanılarak, Eşitlik 2.36 ile Tutarlılık Göstergesi (CI) hesaplanır.

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n (A \times W)_i}{n} \quad (2.35)$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2.36)$$

Son aşamada Tutarlılık Göstergesi (CI) değerı, Tablo 2.5'te gösterilen Rastgele Gösterge (RI) olarak adlandırılan ölçüt sayısının karşılığı olarak seçilen standart düzeltme değerine bölünerek Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanır (Eşitlik 2.37). Hesaplanan CR değerinin 0.10'dan küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. CR değerinin 0.10'dan büyük olması ya AHP'deki bir hesaplama hatasını ya da karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını gösterir [132].

Tablo 2.5 Ölçüt sayısına göre rastgele gösterge

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \quad (2.37)$$

Coğrafi karar destek sistemlerindeki ölçütler genellikle farklı ölçü birimlerinde olduğundan, bu katmanların birbirleriyle karşılaştırılabilir biçimde normalleştirilmesi gerekmektedir. Ölçütlerin normalleştirilmesinde literatürde Doğrusal Ölçek Dönüşümü, Değer/Fayda Fonksiyonu ve Bulanık Mantık

yaklaşımları olmak üzere çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Doğrusal Ölçek Dönüşümü ölçütlerin normalleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan deterministtik bir yöntemdir. Literatürde çeşitli Doğrusal Ölçek Dönüşümü yöntemleri bulunmaktadır. Fakat En Büyük Değere Göre Doğrusal Ölçek Dönüşümü (EBD-DÖD) ile En Büyük ve En Küçük Değere Göre Doğrusal Ölçek Dönüşümü (EBEKD-DÖD) en sık kullanılan yaklaşımlardandır [133-136].

EBD-DÖD'ne göre en yüksek değer en yüksek olacak şekilde veya en düşük değer en yüksek olacak şekilde normalleştirme sırasıyla Eşitlik 2.38 ve Eşitlik 2.39'a göre hesaplanır. Bu eşitliklerde x_{ij} normalleştirilen değeri, x_j^{max} maksimum değeri ve x'_{ij} normalleştirilmiş değeri ifade eder.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \quad (2.38)$$

$$x'_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{x_j^{max}} \quad (2.39)$$

EBEKD-DÖD'ne göre en yüksek değer en yüksek olacak şekilde veya en düşük değer en yüksek olacak şekilde normalleştirme sırasıyla Eşitlik 2.40 ve Eşitlik 2.41'e göre hesaplanır. Bu eşitliklerde, Eşitlik 2.38 ve 2.39'dan farklı olarak bulunan x_j^{min} değişkeni minimum değeri ifade etmektedir.

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (2.40)$$

$$x'_{ij} = \frac{x_j^{max} - x_{ij}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (2.41)$$

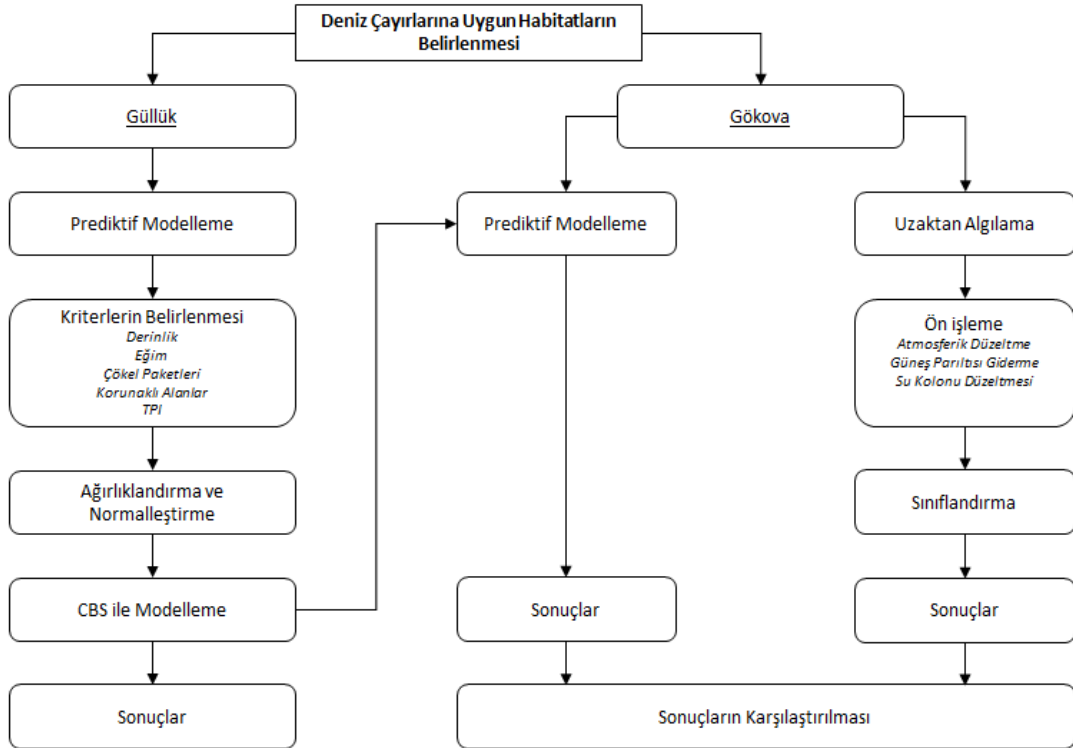
Coğrafi karar destek sistemlerinde ölçütler, çalışma amacına uygun boyuttaki gridler düzeyinde değerlendirilir. Ölçütlerin normalleştirilmesi ve ağırlıklandırılması işlemlerinden sonra, bir grid için bütünleşik sonuç değer Eşitlik 2.42'ye göre her bir ölçütün normalleştirilmiş değeri (S_i) ve ağırlık (W_i) çarpımlarının toplamı ile hesaplanır. Bu eşitlikte n ölçüt sayısını ifade eder.

$$Sonuç_{AHP} = \sum_{i=1}^n S_i \times W_i \quad (2.42)$$



3.1 Metodoloji

Bu çalışmada Güllük Körfezi'ndeki bir kıyı bölgesinde deniz çayırlarına uygun habitatlar için akustik, optik uzaktan algılama, coğrafi bilgi sistemleri ve karar destek sistemleri kullanılarak bir kestirim modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model Gökova Körfezi'nde uzaktan algılama ile elde edilen derinlik bilgisine dayanarak sığ bir kıyı bölgesinde test edilmiştir ve bu bölgedeki uydu görüntülerden elde edilen sınıflandırma sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Genel iş akışı

Bu çalışmada kullanılan veriler şu şekilde özetlenebilir:

- Çok bimli iskandil akustik verileri,
- Multispektral uydu görüntüleri,

- Karaya ait yükseklik eğrileri,
- Deniz çayırlarının arazideki konumları,
- Yıllık dalga raporları,
- Biyolojik çeşitlilik raporları,
- Seyir haritaları
- Su seviyesi değişimi,
- CTD.

Güllük bölgesindeki çalışma alanında derinlik verileri akustik uzaktan algılama teknikleri ile elde edilmiştir. Sığ alanlarda oluşan veri boşlukları optik uydu görüntüleri ile elde edilen derinlik verileri ile doldurulmuştur. Derinlik verileri karaya ait yükseklik verileri ile entegre edilerek çalışma alanı için bütüncül bir yükseklik modeli elde edilmiştir. Elde edilen bu yükseklik modeli ve türevlerini baz alan AHP ile ağırlıklandırılmış 5 ölçütlü deniz çayırı habitat uygunluk modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model arazideki yer gerçeklik verileri ile karşılaştırılarak doğruluğu test edilmiştir.

Gökova Körfezi'ndeki çalışma alanında geliştirilen modelin uygulanabilmesi için akustik veriler mevcut olmadığından, derinlik verilerinin tamamı uydu görüntüsünden elde edilmiştir. Aynı zamanda sınıflandırma araçları kullanılarak, mevcut deniz çayırı dağılımı haritası oluşturulmuştur. Bu çalışma alanında iki yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, birbirlerine olan uyum analiz edilmiştir.

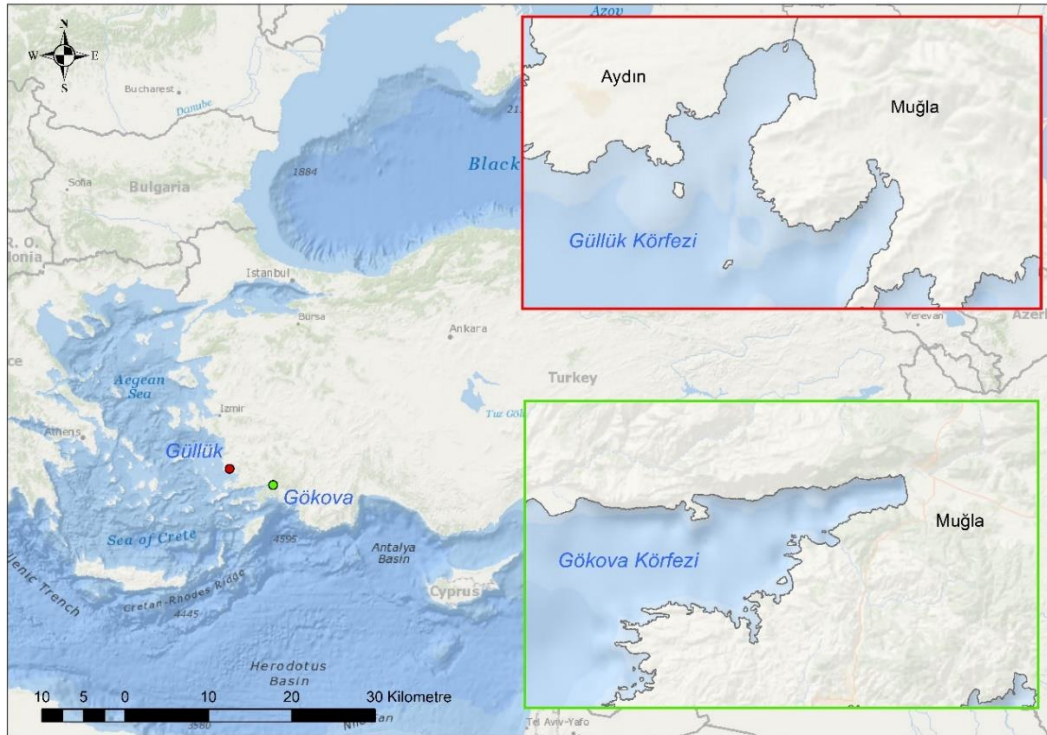
Arazi çalışmalarından elde edilen bilgiler ışığında Güllük Körfezi çalışma bölgesinde mevcut durumda uydu görüntüsü ile gözlemlenebilecek seviyede deniz çayırlarının yaşam formu bulunmamaktadır. Bu nedenle uydu görüntüsü üzerinden sınıflandırma tekniği ile deniz çayırlarının yayılımını elde etme sadece Gökova Körfezi çalışma bölgesinde gerçekleştirilmiştir.

3.2 Çalışma Alanı

Deniz çayırları bulunduğu habitatlarda, gelişimi devam ettirebilmesi için güneş ışığına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, *P. oceanica* 50 metre derinliğe kadar olan deniz altı bölgelerde bulunmaktadır [137].

Çalışma için uluslararası anlaşmalarla koruma altında olan *P. oceanica* başta olmak üzere deniz çayırlarının yoğun olarak bulunduğu Ege Denizi kıyılarında iki farklı bölge seçilmiştir (Şekil 3.2). Deniz çayırları ekosisteminin aşırı avlanma, endüstriyel balıkçılık sebebiyle tehdit altında olması sebebiyle Güllük Körfezi üzerinde çalışılmıştır. Buradaki çalışmanın daha fazla deniz canlısını kapsamı açısından, kıyıya paralel ve derinliği düşük 4.1 km² büyüklüğünde bir deniz alanı seçilmiştir.

Gökova Körfezi'ndeki özel koruma alanları ve sivil toplum kuruluşlarının aktiviteleri sonucunda denizaltı ekosistemi korunmuş halde bulunmaktadır. Buna bağlı olarak deniz çayırları yayılımları tabiatına uygun bir şekilde devamlılığını sürdürmektedir. Bu çalışma alanında derinlik verileri uydu görüntülerinden üretileceği için, ışığın suya nüfuz etme kuvvetinden ötürü maksimum 20 metre derinlik üst sınır olarak kabul edilerek, 8.6 km² büyüklüğünde bir deniz alanı üzerinde çalışılmıştır.



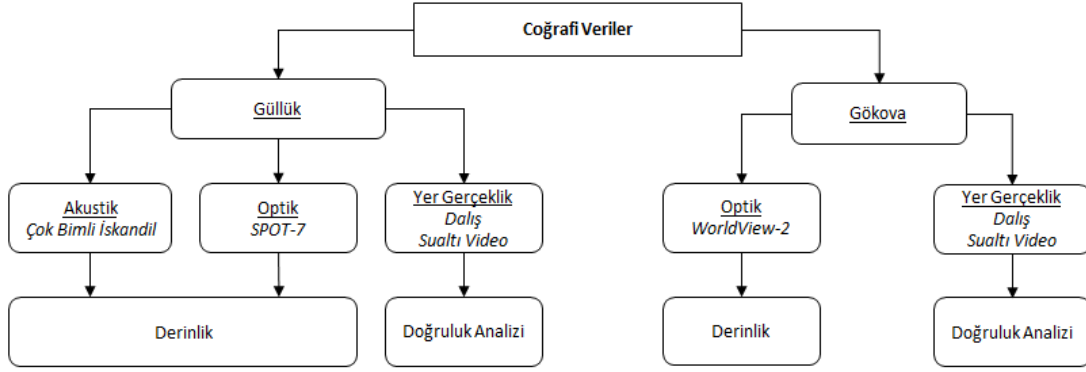
Şekil 3.2 Çalışma alanları

3.3 Veriler

Çalışmada elde edilen coğrafi veriler ve bu verilerin ne amaçla kullanıldığı Şekil 3.3'te özetlenmiştir.

3.3.1 Akustik Veriler

Akustik veriler sadece Güllük'teki çalışma alanı için toplanmıştır. Çok bimli iskandil ölçümleri 18-21 Nisan 2016 tarihinde, Den-Ar firması ile gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, elde edilen verilerde hata ve gürültünün minimum düzeyde olması için ölçümler rüzgârsız hava koşullarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Çalışmada kullanılan veriler

Ölçümler 200 – 400 kHz frekans aralığına sahip, 2 derecelik bim ve 130 derecelik tarama genişlikli R2Sonic 2024 çok bimli iskandil cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Konum bilgisi için, 1-2 cm yatay ve 2-3 cm düşey gerçek zamanlı kinematik (RTK) konum doğruluğuna sahip Topcon GR-5 GNSS/GPS kullanılmıştır. Ölçmelerde 11 metre boyunda bir tekne kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan tekne ve kurulum mimarisi Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Kullanılan teçhizatın teknik özellikleri ise Tablo 3.1'de verilmiştir.

Ana (primary) ve ikinci (secondary) GPS'ler yön (heading) bilgisi için kullanılmaktadır. Bu iki GPS sabit bir platform üzerinde 2 metre mesafe ile kurulmuştur. GPS'ler ile iskandilin zaman senkronizasyonu için PPS (Pulse-per-Second) kullanılmıştır. RTK GPS ise CORS-TR ağı yardımıyla konum bilgisi almak için kullanılmıştır. Ana GPS ile iskandilin sonarı/transdüseri arasındaki mesafe ölçülerek veri toplama yazılımına offset olarak girilmiştir. Böylece veri konumu iskandile göre sıfırlanmıştır. Tekne üzerine monte edilen sonar aparatındaki eğiklik ve dönüklükler patch test adı verilen kalibrasyon sonucunda giderilmiştir. Bu eğiklik değeri 5° den fazla ise Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO) Hidrografik Ölçme Standartlarına göre kurulum tekrar yapılmalıdır (Şekil 3.5).



Şekil 3.4 Ölçüm teknesi ve kurulum mimarisi

Tablo 3.1 Ölçüm cihazlarının teknik özellikleri

	<i>Çok Bimli İskandil</i>		<i>GPS</i>
Marka	R2Sonic 2024	Marka	Topcon GR-5
Frekans	200-400 kHz	Yatay Doğruluk	10 mm
Bim Genişliği (maks)	2° × 2°	Düşey Doğruluk	15 mm
Tarama Genişliği	130°	Veri Yineleme	1-100 Hz
Derinlik	100 m	Haberleşme	NMEA 0183
Çözünürlük (maks)	1.25 cm	NMEA	GGA, GSV, GST, GSA



Şekil 3.5 Tekneye konumlandırma ve iskandil sistemlerinin kurulumu

Kurulumun tamamlanmasıyla birlikte ilk olarak GPS'ler arasındaki mesafenin belirlenerek, konum ve yön düzeltmesinin alındığı, GPS Azimuth Measurement Subsystem (GAMS) kalibrasyonu gerçekleştirilir. Bu işlem teknenin 8 şeklinde bir rotayı takip etmesiyle gerçekleştirilir. Bu rota yeterli yön doğruluğu elde edilene kadar takip edilmiştir.

İkinci olarak iletkenlik – sıcaklık – derinlik (CTD) verileri kullanılarak ses hızı profili oluşturulur ve bu profil ses hızı kalibrasyonu olarak kullanılır. Sudaki ses hızı teoride 1500 m/s olmasına rağmen, sıcaklık, basınç ve tuzluluğa bağlı olarak bu değer değişiklik göstermektedir. CTD ile iletkenlik (ms/cm), sıcaklık (°C), basınç (dbar), deniz basıncı (dbar), derinlik (m), tuzluluk (PSD), kesin iletkenlik ($\mu\text{s/cm}$), yoğunluk anomalisi (kg/m^3) ve ses hızı (m/s) parametreleri ölçülmektedir. Örnek CTD verileri Tablo 3.2'de görülmektedir.

Son olarak iskandilin X, Y ve Z yönündeki dönüklüklerinin kalibrasyonu için patch test gerçekleştirilmiştir. Bu işlemle eğimin olduğu hatlar gidiş ve dönüş olarak 25 Hz frekans ile ölçülmüştür (4 Hat). Gidiş ve dönüşten kaynaklanan yüzey farklılıkları, orta bimlerden başlanarak birbirine oturtulmuştur. Oluşan farklar Yalpa (Roll), Boyuna Salınım (Pitch) ve Rotadan Çıkma (Yaw) düzeltmesi açısı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu değerler IHO standartlarının üzerinde ise kurulum tekrarlanır. Elde edilen düzeltme değerleri; Roll: 0.39° , Pitch: 0.50° ve Yaw: 1.50° şeklindedir. Düzeltmeler uygulandıktan sonra multibeam ölçümlerine başlanmıştır. Bu ölçümler 16 saat civarında gerçekleştirilmiştir. Çözünürlük derinliğe ve tekne hızına bağlı

olarak 16 – 25 cm arası değişmektedir. Ham veriler tüm çalışma alanı için 22 GB boyutundadır.

Tablo 3.2 Örnek CTD verileri

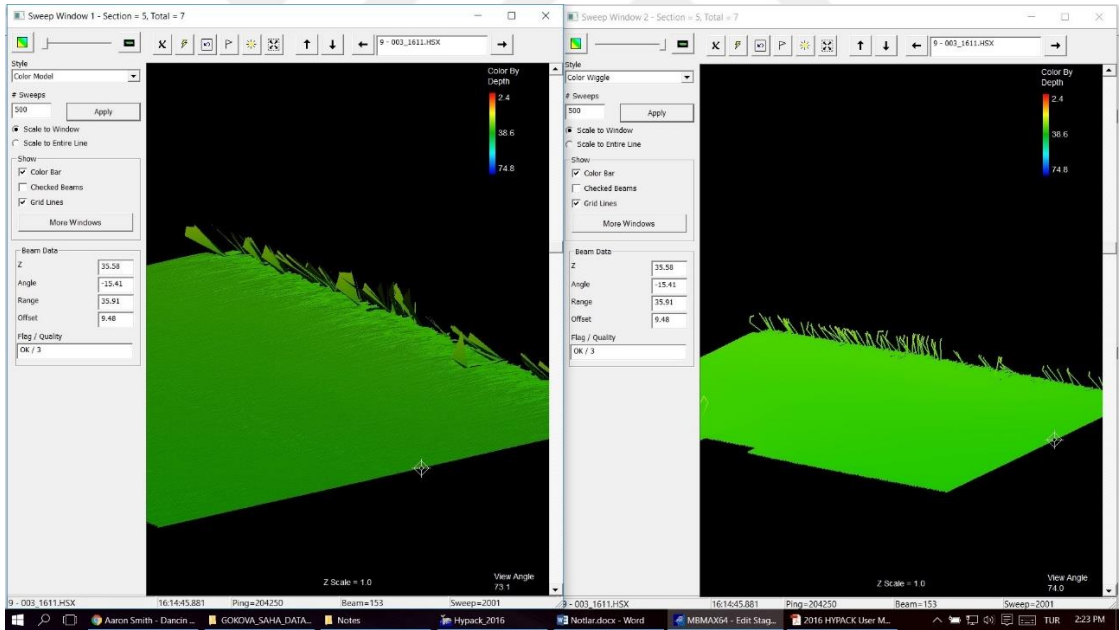
İletkenlik (mS/cm)	Sıcaklık (°C)	Basınç (dbar)	Deniz Basıncı (dbar)	Derinlik (m)	Tuzluluk (PSU)	Özgül İletkenlik (µS/cm)	Yoğunluk Anomali (kg/m ³)	Ses Hızı (m/s)
53.49	20.52	10.59	0.46	0.45	39.13	58503.37	27.78	1527.52
53.15	20.34	10.74	0.61	0.61	39.01	58340.01	27.73	1526.92
53.20	20.33	10.93	0.80	0.79	39.07	58415.41	27.78	1526.94
53.18	20.37	11.31	1.17	1.17	39.01	58342.90	27.73	1527.00
52.99	20.25	11.67	1.54	1.53	38.96	58275.44	27.73	1526.62
52.93	20.04	12.14	2.01	2.00	39.11	58467.89	27.90	1526.22
52.58	19.79	12.39	2.26	2.25	39.05	58389.41	27.92	1525.47
52.46	19.68	12.83	2.70	2.68	39.05	58391.81	27.95	1525.19
52.44	19.65	13.00	2.86	2.85	39.06	58409.66	27.97	1525.11
52.37	19.64	13.29	3.16	3.14	39.01	58346.29	27.94	1525.03
52.40	19.62	13.25	3.11	3.10	39.06	58403.35	27.98	1525.02
52.42	19.63	13.26	3.13	3.11	39.06	58403.15	27.97	1525.07

Veri değerlendirme sürecinde kullanılmak üzere belirli hatlar boyunca akıntı ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Akıntı ölçümü için 154 metre derinlik menziline sahip, 4 bimli ve 3 farklı frekans aralığına sahip Teledyne RD Instruments Workhorse Sentinel aleti kullanılmıştır. Akıntı ölçümü işleminde GPS'lerden sağlanan yön bilgisi yeterli olmamaktadır. Bu nedenle dinamik yön doğruluğu $\pm 0.2^\circ$ olan SG Brown Gyrocompass kurulumu gerçekleştirilmiştir. Cihazın çalışma prensibi doppler etkisine dayanmaktadır. Cihazda 4 adet bim bulunmaktadır. Bu bimler farklı zamanlarda denize yollanır. İlk bimden gelen yanıt, diğer 3 bimden gelen yanıtlarla ayrı ayrı karşılaştırılarak, deniz yüzeyinden tabanına belirli hücre aralıkları ile akış hızı ve akış yönü bilgisi elde edilir. Yazılım tarafından bu korelasyonların kalitesi ve hızları da verilmektedir. Ayrıca cihazda bulunan diğer sensörler ile sıcaklık ve basınç, bu veriler doğrultusunda da alet derinliği ve su tuzluluğu bilgileri elde edilir. Akıntı ölçümündeki en önemli noktalardan birisi, akıntı ölçümü yaparken düz bir hattın takip edilmesidir. Bu durum birçok hatayı engelleyerek, doğru alıntı bilgisine ulaşmayı sağlar. 7 hat boyunca akıntı ölçümü gerçekleştirilmiştir.

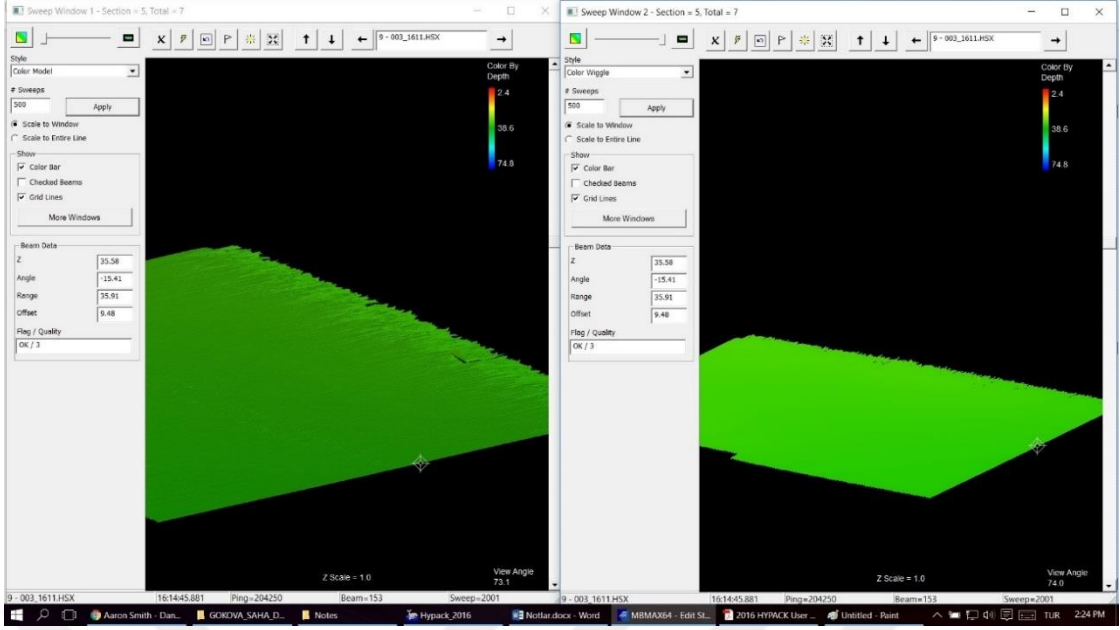
Ham batimetri verileri birçok atlama (spike) ve gürültü barındırmaktadır. Bu gürültülerin temizlenmesi için otomatik filtreler mevcuttur fakat belli parametreler belirlenebilmesine rağmen bu filtrelerin deniz tabanına ait bilgiyi silme riski bulunmaktadır ve bu filtreler ayrıntılı düzenlemeler için tasarlanmamıştır. Bu nedenle veriler kaba hatalardan elle temizlenmiştir.

Gürültüler genellikle dış bimlerden elde edilen verilerde bulunmaktadır (Şekil 3.6). Bu hatalar 500 metrelik pencereler halinde temizlenmiştir (Şekil 3.7).

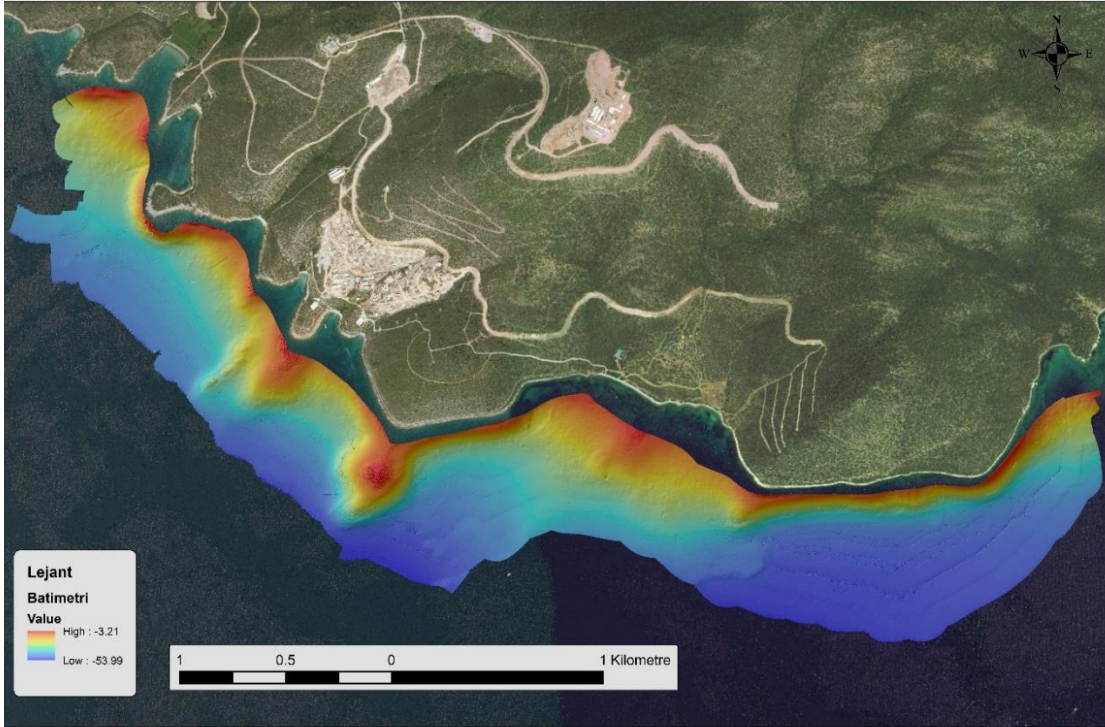
Gürültüler temizlendikten sonra, derinlik indirgemesi için ölçüm yapılan bölgeye en yakın istasyondan su seviyesi değişimi (gel-git) verileri elde edilerek, veriler üzerinde gel-git düzeltmeleri gerçekleştirilmiştir. Gel-git verisi, ortalama sığ su yüksekliği (LAT) referans alınarak, belirli zaman periyotlarıyla su yüksekliği verilerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada, 15 dakikalık periyotlarda gel-git düzeltmesi gerçekleştirilmiştir. Düzeltmeler sonucu elde edilen batimetri Şekil 3.8'da görülmektedir.



Şekil 3.6 Ham verilerde özellikle dış bimlerde gözlemlenen gürültüler



Şekil 3.7 Gürültülerden temizlenmiş bölge



Şekil 3.8 Güllük çalışma alanına ait elde edilen batimetri

Batimetri verilerinin doğruluklarının standartlara uygunluğu kontrol edilmiştir. Bu kontrol amacıyla batimetri verisinin düşey düzlemde standart sapması hesaplanmıştır. Uluslararası Hidrografi Organizasyonu (IHO) Özel yayın No:44'e göre derinliğe bağlı olarak hidrografik ölçümler için 4 farklı standart bulunmaktadır

[138]. Bu tezdeki çalışma bölgesine uygun olarak 100 metrenin altında ve özel mühendislik çalışmaları için olan özel derece (Special Order) veya 1a. derece standartları kullanılabilir. Bu standartlara göre toplam düşey belirsizlik (TVU) değeri Eşitlik 3.1'deki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\pm\sqrt{(a^2 + (b \times d)^2)} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

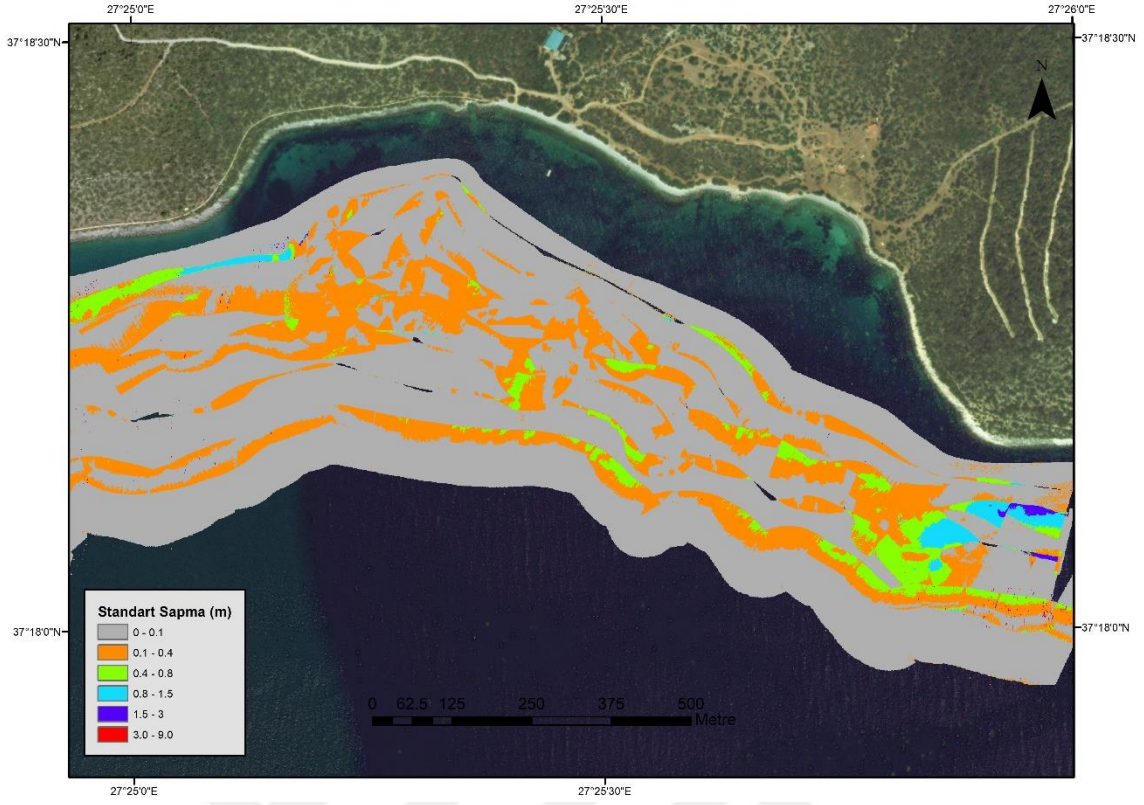
a: derinliğe bağlı olmayan belirsizlik

b: derinliğe bağlı olan belirsizlik

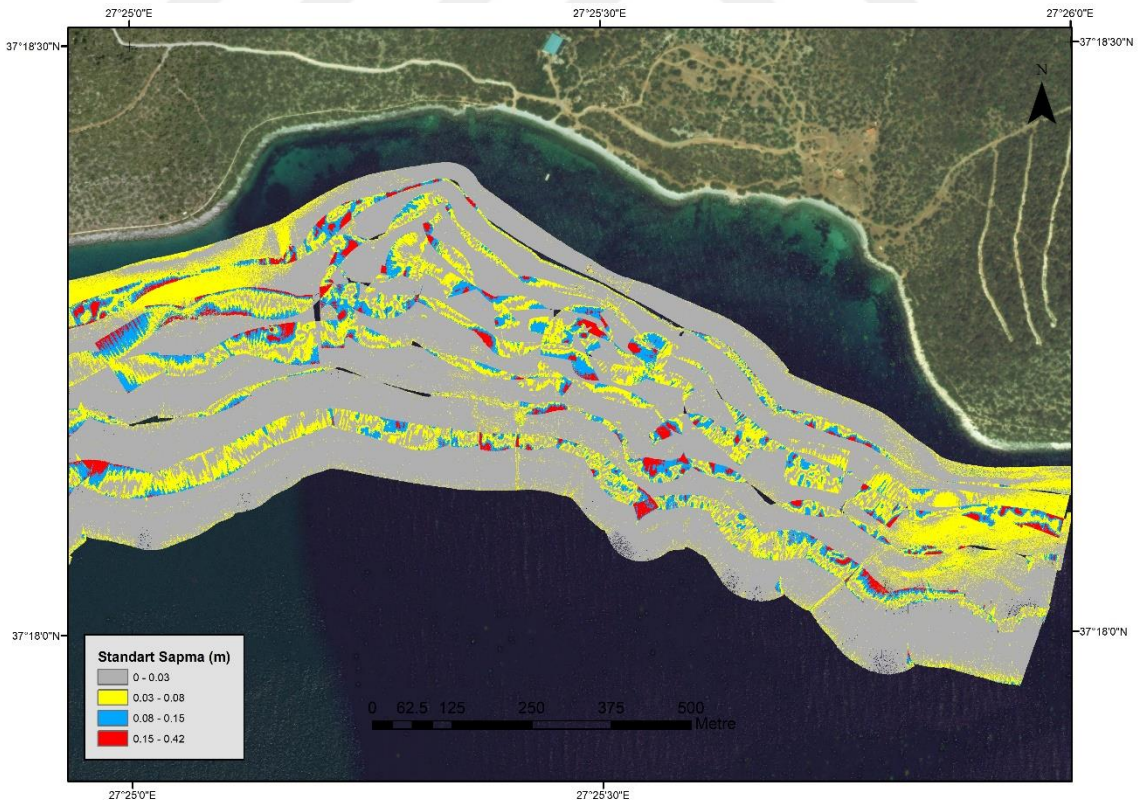
d: derinlik

olarak tanımlanmaktadır. Özel ve 1a derece standartlarına göre sırasıyla a değeri 0.25 m ve 0.5 m, b değeri 0.0075 ve 0.013 olarak tanımlanmıştır. Çalışma alanındaki maksimum derinlik 50 m olduğuna göre özel ve 1a derece standartlarında maksimum düşey belirsizlik sırasıyla 0.45 m ve 0.82 m olmalıdır. Fakat veride bu standartların birine veya her ikisine birden uymayan durumlar tespit edilmiştir (Şekil 3.9). Özel derece tanıma göre sadece gri ve turuncu alanlar, 1a'ya göre ise bunlara ek olarak yeşil alanlar bu standartların sunduğu maksimum düşey belirsizliğin altındadır. Bu sebeplerden dolayı, TVU değeri üzerinde kalan hatalardan arındırmak için filtre ve manuel yöntemler aracılığı ile veri işleme gerçekleştirilmiştir.

Filtre olarak "Beam to Beam Angle" çok bimli iskandil filtresi kullanılmıştır. Bu filtre mevcut bimin komşu bimler ile yaptığı açığı göz önünde bulundurarak veri temizliği yapmaktadır. Kullanıcı tarafından belirlenen maksimum açı değeri ile bu filtre uygulanmaktadır. Bu çalışmada maksimum açı değeri 30° olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.9 Batimetri standart sapma değerleri



Şekil 3.10 Veri işleme sonrası batimetri standart sapma değerleri

Gel-git verisinde bulunan hatalı ölçülerin, ölçüm hatları arasındaki düşey bindirme problemine sebep olduğu gözlemlenmiştir. Bu hataların giderilmesi için manuel olarak ilgili zaman aralığında hatlar arasındaki düşey farklar ölçülerek, gel-git verisine işlenmiştir. Bu işlemler sonrasında standart sapma değerlerinin IHO'nun standartlarına göre en hassas özel derece alan tanımı ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.10).

3.3.2 Optik Veriler

Optik uydu görüntüleri her iki çalışma alanında da derinlik bilgisi çıkarımı için kullanılmıştır. Buna ek olarak, Gökova Körfezi çalışma alanında sınıflandırma teknikleri ile deniz çayırı haritası oluşturulmuştur.

3.3.2.1 Güllük Körfezi

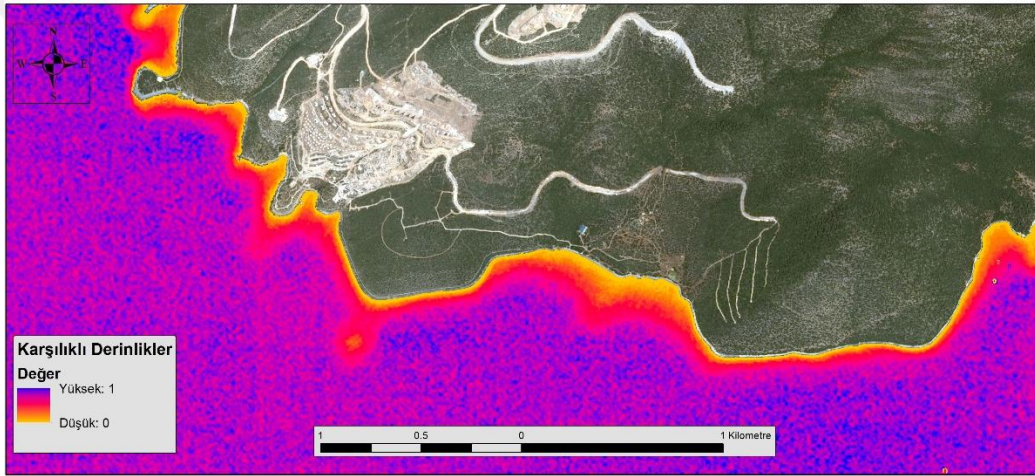
Akustik verilerin ölçümü esnasında sığ alanlarda teknenin seyir güvenliği ve zaman kısıtlamaları sebebiyle, kıyı bölgelerinde batimetri verisinde bilgi boşlukları oluşmuştur. Bu alanlarda derinlik bilgisi çıkarımı için yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü kullanılması amaçlanmıştır. Kullanılan görüntü İstanbul Teknik Üniversitesi Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Merkezi'nden temin edilen 27.04.2016 tarihli keskinleştirilmiş 1,5 metre geometrik çözünürlüğe sahip SPOT 7 optik uydu görüntüsüdür. SPOT 7 optik uydusuna ait teknik özellikler Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3 SPOT 7 uydusu teknik özellikleri [139]

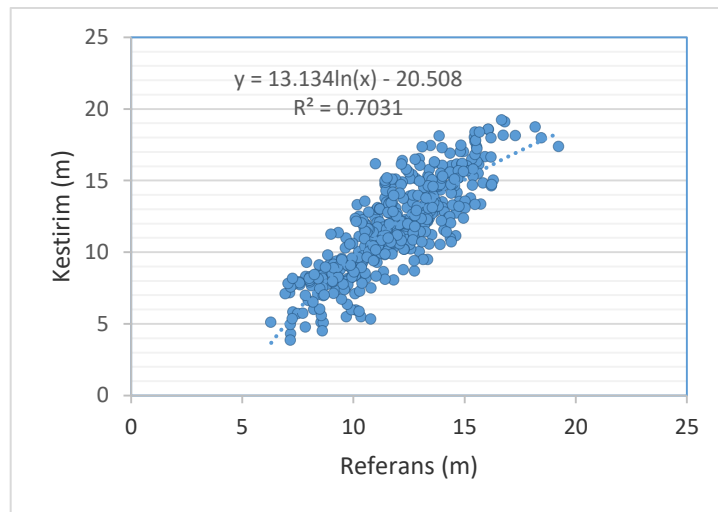
Özellik	Açıklama
Fırlatılma Tarihi	30.06.2014
Pankromatik Çözünürlük	1.5 m
Multispektral Çözünürlük	6.0 m
Bant Sayısı	4
Görüntüleme Genişliği	60 Km (Nadir)

Uydu görüntülerinden derinlik bilgisi çıkarımı için bir önceki bölümde bahsedildiği gibi literatürde çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada sık kullanılan ve değişken dip yüzeylerinden su derinliği belirleyebilen bir yöntem olan oran dönüşüm modeli kullanılmıştır [115].

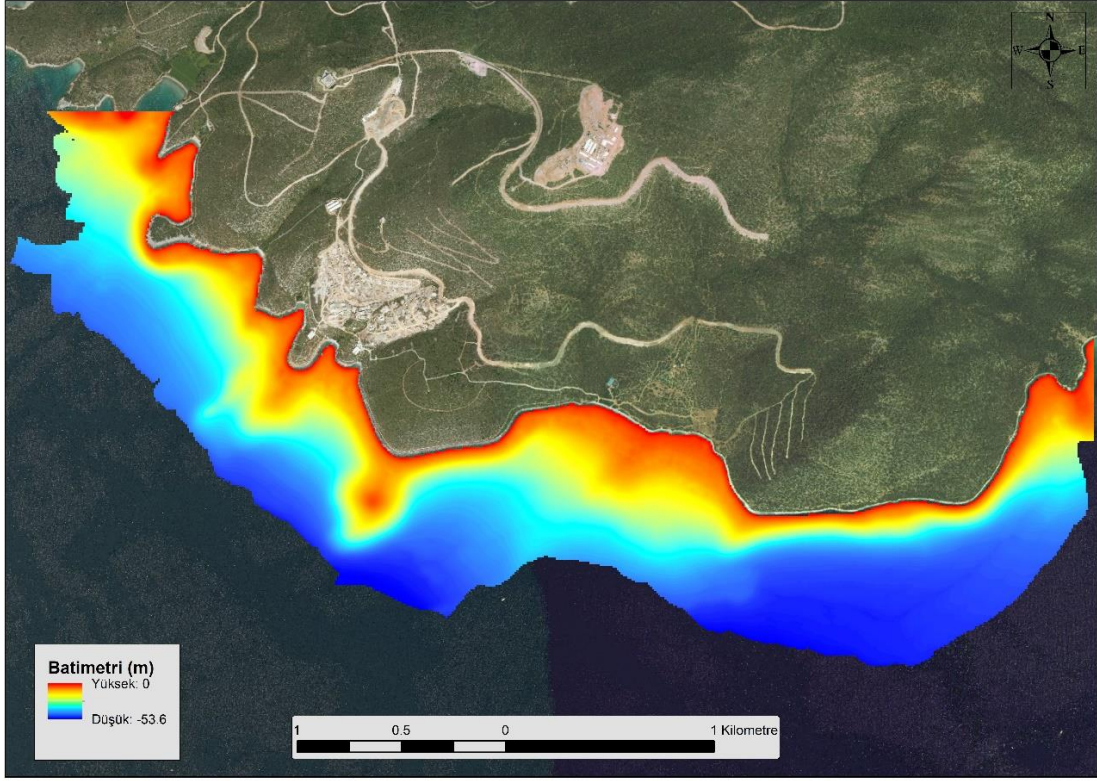
Oran dönüşüm modeli kullanılarak elde edilen normalize karşılıklı derinlikler Şekil 3.11’de görülmektedir. Yüksek değerler derin, düşük değerler sığ alanları ifade etmektedir. Deniz dibinden yansımanın kaydedilemediği optik derinde karşılıklı derinliklerin gürültüden ibaret (süreksiz mor ve beyaz) olduğu görülmektedir. Kesin derinlik değerlerini elde etmek için, yer gerçeklik verileri ile modelin eğitilmesi gerekmektedir. Eğitim sonrasında elde edilen derinliklerin doğruluk analizini gerçekleştirmek için, çok bimli iskandil verisinden noktalar üretilmiştir. 449 nokta ile gerçekleştirilen doğruluk analizinde 1.74 metre karesel ortalama hata elde edilmiştir. Hataların dağılımı Şekil 3.12’de görülebilmektedir. Akustik yöntem ile elde edilen batimetri ve optik uydu görüntüsü ile kestirilen derinliklerin entegre edilmesiyle elde edilen bütünleşik veri Şekil 3.13’de görülebilmektedir.



Şekil 3.11 Oran dönüşüm modeli ile elde edilen normalize karşılıklı derinlikler



Şekil 3.12 Oran dönüşüm modeli ile derinlik kestirim hataları dağılım grafiği



Şekil 3.13 Güllük Körfezi'ndeki çalışma alanına ait bütünleşik derinlik haritası

3.3.2.2 Gökova Körfezi

Gökova Körfezi çalışma alanında akustik verileri mevcut olmadığından derinlik bilgisi uydu görüntülerinden çıkarılmıştır. Uydu görüntülerinden kestirilebilecek maksimum derinlik ışığın suda nüfuz edebilme oranı ile ilişkilidir. Bu oran sudaki kirlilik ve asılı maddeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Buna bağlı olarak literatürdeki yöntemler incelendiğinde, uydu görüntülerinden çıkarılan derinliklerdeki hata miktarının derinlikle birlikte arttığı görülmüştür. Bu nedenle, çalışma alanı maksimum 20 metre derinlik ile sınırlandırılmıştır. 20 metrelik sınır, seyir haritalarının taranmasıyla karşılaştırılarak elde edilmiştir.

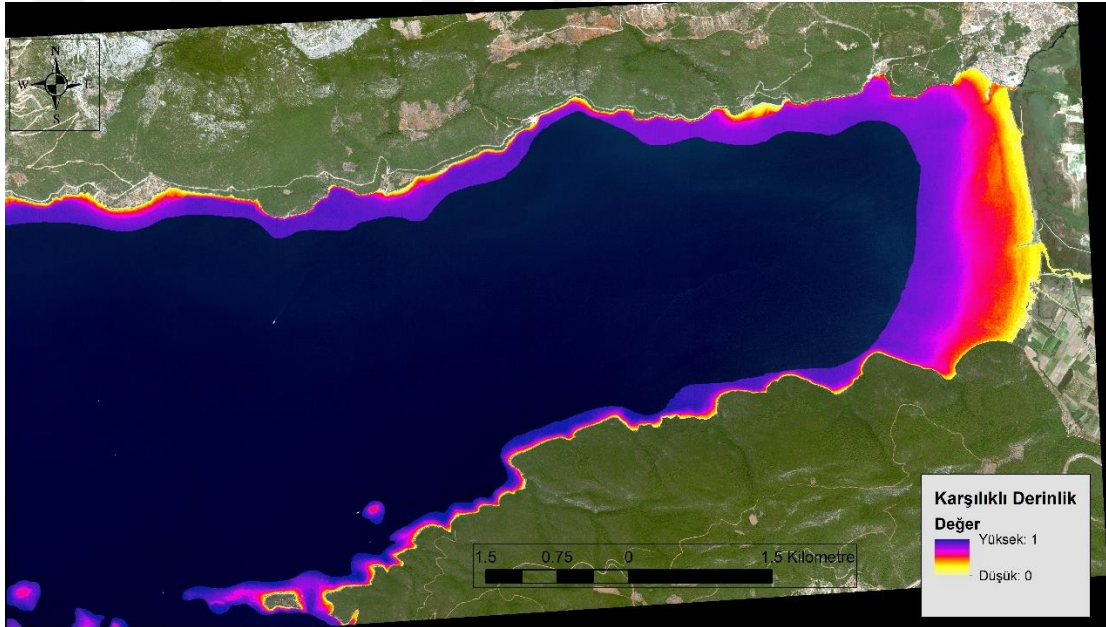
Derinlik çıkarımı için 20.07.2010 tarihli 2 metre geometrik çözünürlüğe sahip WorldView-2 uydusu kullanılmıştır. WorldView-2 uydusunun teknik özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Gökova Körfezi çalışma alanında da, Güllük Körfezi çalışma alanında kullanılan ve yeterli doğrulukta sonuç veren oran dönüşüm modeli kullanılmıştır [115]. Oran dönüşüm modeli ile elde edilen normalize karşılıklı derinlikler Şekil 3.14'de

görülmektedir. Elde edilen normalize karşılıklı derinliklerin seyir haritalarından yararlanılarak ölçeklendirilmesi ile mutlak derinlikler elde edilmiştir (Şekil 3.15).

Tablo 3.4 WorldView-2 uydusu teknik özellikleri [140]

Özellik	Açıklama
Fırlatılma Tarihi	8 Ekim 2009
Yörünge Yüksekliği	770 km
Pankromatik Çözünürlük	0.46 m (Nadir)
Multispektral Çözünürlük	1.84 m (Nadir)
Bant Sayısı	8
Görüntüleme Genişliği	16.4 Km (Nadir)



Şekil 3.14 Gökova Körfezi uydur görüntüsünden elde edilen normalize karşılıklı derinlikler

Gökova Körfezi çalışma alanında deniz çayırlarının mevcut dağılımının belirlenmesinde uydur görüntüsü kullanılmıştır. Uydur görüntüsü üzerinde bazı ön işleme işlemleri gerçekleştirdikten sonra sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur.

Öncelikle görüntünün dijital değerleri radyans değerlerine dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm 32 bit kayan nokta değerlerini depolayan, band interleaved by line (BIL) raster türünde ve $\mu W/(cm^2 \times sr \times nm)$ biriminde elde edilecek şekilde

gerçekleştirilmiştir. Bu çıktı türü, atmosferik düzeltmede kullanılacak FLAASH modülüne uygun girdi verisi olarak ayarlanmıştır.



Şekil 3.15 Gökova Körfezi mutlak derinlikler

FLAASH modülü kullanılarak radyansa dönüştürülmüş görüntüye atmosferik düzeltme getirilmiştir. Çalışma alanı 37°-38° enlemleri arasında bulunduğundan, 40° enlemine ve temmuz ayına uygun Orta Enlem Yaz atmosferik modeli seçilmiştir. Radyans olarak işleme sokulan görüntü, bu işlem sonucunda yüzey reflektansı olarak elde edilir.

Yüzey reflektansları elde edildikten sonra, bir sonraki aşama güneş parıltısının giderilmesidir. Fakat, literatürdeki güncel çalışmalarda bu adımın her koşulda gerekli olmadığı gözlemlenmiştir [141, 142]. Bu çalışmada da test amaçlı olarak Lyzenga tarafından önerilen güneş parıltısı düzeltmeleri uygulanmıştır [116]. Ancak, bu düzeltmenin sonuç görüntüye doğrudan yapıcı bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle çalışma alanında güneş parıltısı giderme düzeltmesi yapılmamıştır.

Su kolonu düzeltmesi aşamasına geçmeden önce görüntü sadece su alanlarını kapsayacak şekilde kesilmiştir. Bu işlem için Normalized Difference Water Index kullanılarak su sınırı belirlenmiştir. Bununla birlikte çalışma alanı 20 metre derinlik

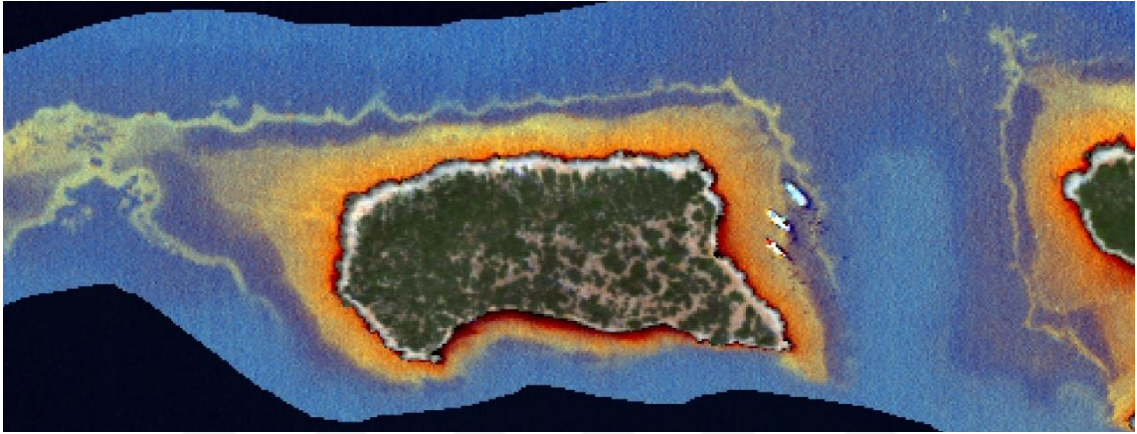
ile sınırlandırıldığı için, görüntünün 0 ila 20 metre derinlik arasında kalan su altı bölgesini kapsamayı sağlamıştır.

Sınıflandırmadan önceki son düzeltme olan su kolonu düzeltmesi, su yüzeyinden deniz tabanına kadar görüntüde bulunan etkileri gidermek için uygulanmaktadır. Bu çalışma için sık kullanılan yöntemlerden biri olan Lyzenga, 1981 tarafından önerilen derinlikten bağımsız indeksler kullanılmıştır [121]. Bu yöntem bantların sudaki emilim oranlarını kullanarak, görünür bantlara ait reflektans değerlerinden derinlikten bağımsız indeksler oluşturmaktadır. Lyzenga çalışmasında aynı zamanda bir atmosferik düzeltme yöntemi de önermektedir fakat bant kombinasyonuna dayalı bu yöntem bu çalışmada tercih edilmemiştir. Derinlikten bağımsız indeksler MATLAB ortamında yazılan kodlar ile oluşturulmuştur. Öncelikle değişken derinlikli kum yüzeye sahip bir alan referans alınarak, bantların emilim oranları ile bantların varyans ve kovaryansına bağımlı değişkenler hesaplanmıştır. Son olarak FLAASH modülünden elde edilen yüzey reflektans değerleri, emilim oranları ve varyans-kovaryans bağımlı değişkenler kullanılarak derinlikten bağımsız indeksler oluşturulmuştur. Bu indeksler her band ikilisi (Kırmızı/Yeşil, Kırmızı/Mavi, Yeşil/Mavi) için oluşturularak, yapay renkli görüntü elde edilmiştir. Şekil 3.16'da çalışma alanının bir kısmına ait reflektans ve derinlikten bağımsız indeksler gösterilmiştir. EK-A'da derinlikten bağımsız indekslerin elde edilmesi için yazılan MATLAB kodu verilmiştir.

Su kolonu düzeltme sonucu derinlikten bağımsız indekslerin üretilmesiyle birlikte, sualtı sınıflandırması için uygun görüntü elde edilmiş olmaktadır. Bu çalışmada görüntü RO ve DVM yöntemleri ile kontrollü sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Ancak, Akyaka'dan dökülen Çay Deresi ile Akçapınar ve Gökçe'den dökülen dereler, koyun sağ kısmındaki deniz çayırı habitatına etki etmektedir ve bu bölgede deniz çayırı olmadığı bilinmektedir (Şekil 3.17). Bu nedenle, bu bölge çalışma alanına dahil edilmemiştir.

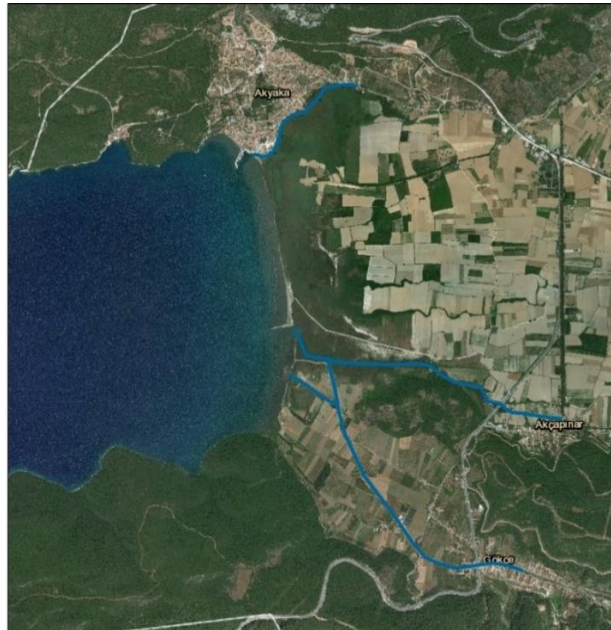


(a)



(b)

Şekil 3.16 (a) Atmosfer düzeltmesi sonucu elde edilen yüzey reflektansı
(b) Lyzenga, 1981 yöntemine göre oluşturulan derinlikten bağımsız indeksler



Şekil 3.17 Çalışma alanına yerleşim alanlarından dökülen dere ve kanallar

RO sınıflandırma işlemi ile ağaç sayısı 40 ve rastgele değişken sayısı 2 alınarak, sadece deniz çayırlarının ayırt edilmesi amaçlanmıştır. RO yöntemi ile elde edilen sınıflandırma sonucu Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Yönteme ait örnek karar ağaçları Ek-B’de verilmiştir.



Şekil 3.18 RO yöntemi ile deniz çayırı sınıflandırma sonucu

DVM yönteminde radyal kernel fonksiyonu, gamma parametresi 0.333 ve ceza parametresi 100 olarak kullanılmıştır. Bu yöntem sonucunda elde edilen sınıflandırma sonucu ise Şekil 3.19’da gösterilmiştir.

3.3.3 Yer Gerçeklik Verileri

Ölçüm verileri ile deniz tabanı karakteristikleri arasında ilişki kurulması, geliştiren modelin test edilmesi ve uydu görüntüsünün sınıflandırılması amacıyla her iki çalışma alanında da arazi çalışması gerçekleştirilmiştir.

Güllük Körfezi için 8 Ekim 2016 tarihinde arazi ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde su altı video kamera ve RTK-GPS kullanılmıştır.



Şekil 3.19 DVM ile deniz çayırı sınıflandırma sonucu

Gökova Körfezi için ise İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü tarafından 2006 yılında yayımlanan “Gökova Özel Çevre Koruma Bölgesinin Kıyı Ve Deniz Alanlarının Biyolojik Çeşitliliğinin Tespiti” raporundan yararlanılmıştır [143]. Ancak bu rapordaki deniz çayırlarına ait yayılım haritalarının geçerliliğini koruyup korumadığını tespit edebilmek için 11 Ağustos 2018 tarihinde bölgede bir arazi çalışması gerçekleştirilmiş. Akdeniz Koruma Derneği desteği ile bölgede yapılan dalış ve gözlemlerde deniz çayırlarının varlığını sürdürdüğü görülmüştür (Şekil 3.20).

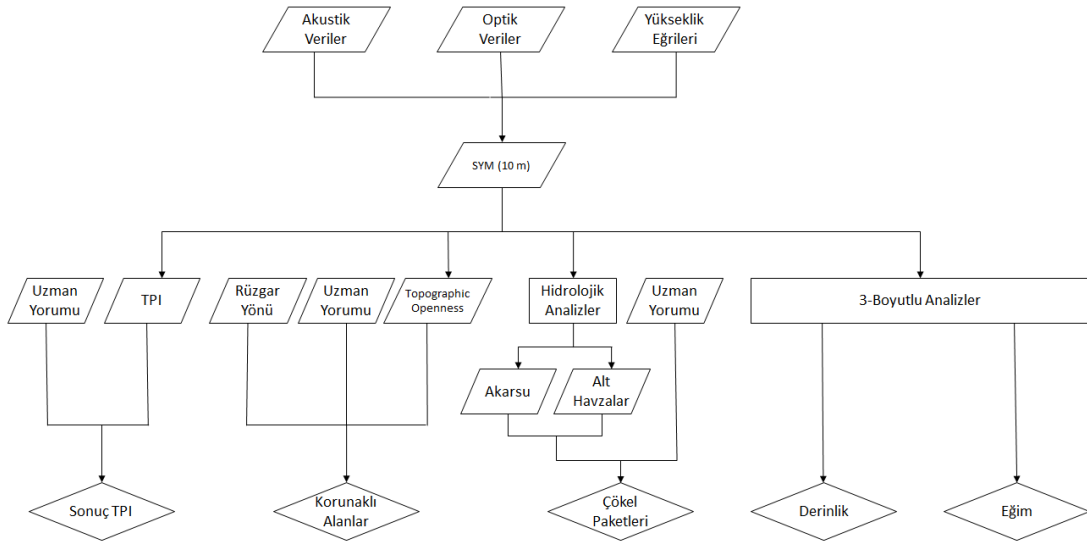


Şekil 3.20 Gökova körfezinde dalış ile gözlemlenen deniz çayırları [2]

3.4 Ölçütler

3.4.1 Ölçüt Katmanlarının Hazırlanması

Deniz çayırları her ne kadar üzerinde birçok bilimsel çalışma yapılan bir canlı olsa da, ideal referans yaşam koşulları kesin olarak bilinmemektedir [144]. Bu çalışmada ise yüksek çözünürlüklü batimetri verisi kullanılarak jeomorfolojik analizler ile ideal habitat koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır (Şekil 3.21). Bu tip analizlerin tam anlamıyla gerçekleştirilebilmesi için, çalışma alanının kara ile ilişkisinin kurulması gerekmektedir. Bu entegrasyon için bölgeye ait 1:25.000'lik haritadaki yükseklik eğrilerinden yararlanılarak ANUDEM yönteminden [145] yararlanılarak sayısal yüksek modeli oluşturulmuştur. Akustik veri ve sayısal yükseklik modeli arasındaki veri boşluğu, uydu görüntülerinden elde edilen derinlik verileri ile doldurularak bütüncül bir veri oluşturulmuştur. Bu entegrasyon aşamasında hidrolojik analizlerin yapılmasına uygun olması için ve karaya ait yükseklik eğrilerinin 10 metre aralıklı olması nedeniyle tüm veriler 10 metrelik gride indirgenmiştir.

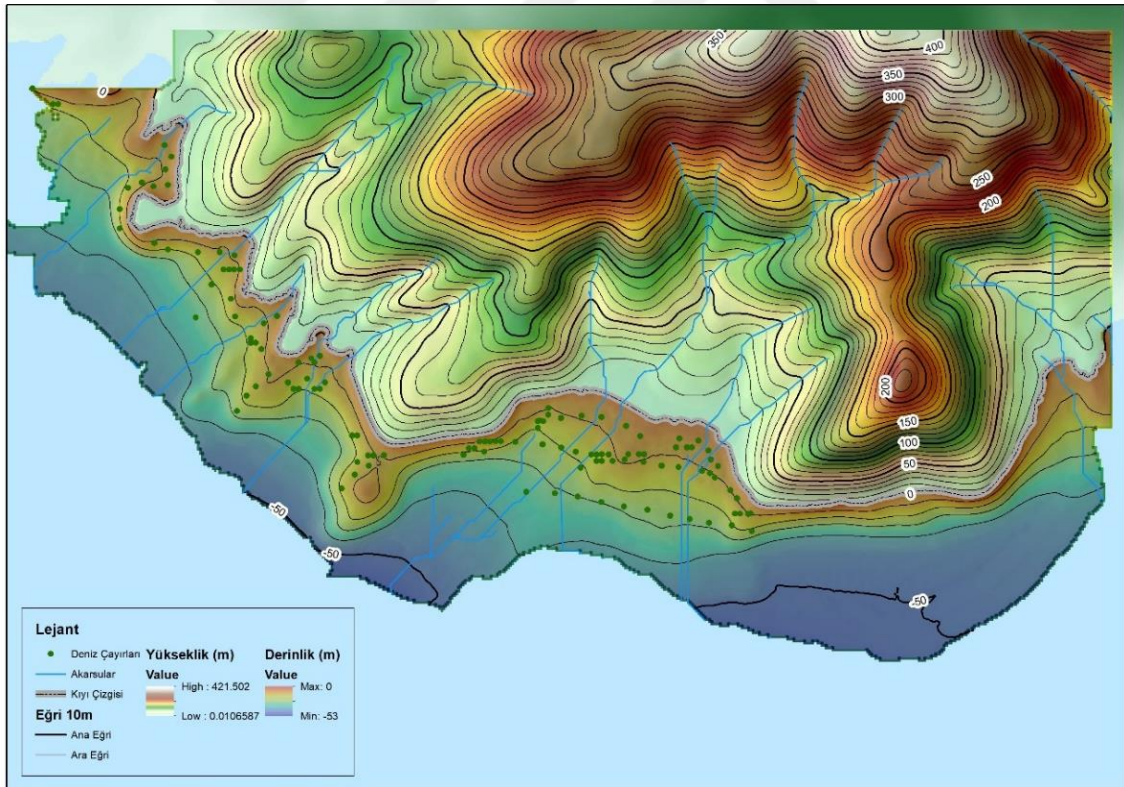


Şekil 3.21 Ölçüt katmanlarının hazırlanış şeması ve veri kaynakları

Öncelikle çalışma alanında denize dökülen akarsuların elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda “ArcGIS Spatial Analyst” araç çubuğundaki “Hydrology” araçları kullanılmıştır. İlk olarak her bir piksel için pikselin en dik komşusu olan akış yönü tespit edilir. Bu sekiz yönlü yaklaşım Jenson ve Domingue [146] tarafından önerilmiştir. Elde edilen akış yönleri kullanılarak her bir pikseldeki toplam akış

miktarı hesaplanır. Toplam akış miktarları üzerinden bir eşik değeri belirlenerek ikili raster oluşturulur. Uygun eşik değeri belirlenmesi için Tarboton vd. [147] analitik bir metot önermiştir. Bu çalışmada ise birkaç eşik değeri test edilerek, denize dökülen tüm akarsuların çıkarımını mümkün kılan bir değeri belirlenmiştir. Akış yönleri ve ikili raster kullanılarak Strahler [148] yöntemi ile raster parçalarına nümerik bir sıra atanır. Bu sayede akarsuyun şiddeti hakkında bir fikir edinilir. Son olarak raster veri vektör formatına dönüştürülerek, çalışma alanına ait akarsu verileri elde edilmiş olur. Bununla birlikte, bu veriler ışığında belirlenen akarsulara katkı yapan alanlar belirlenerek alt havzalar bulunur.

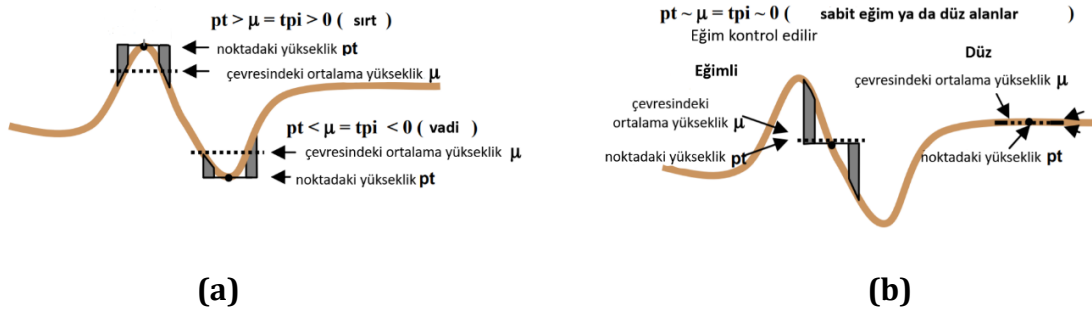
Şekil 3.22'de bütünleştirilmiş harita, sayısal yükseklik modelinden hidrolojik analizler ile elde edilmiş akarsular ve arazi çalışmalarından elde edilen deniz çayırlarının denizdeki dağılımları gösterilmiştir. Karaya ait sayısal yükseklik modelinin kuzey sınırı, çalışma alanına dökülen akarsuların alt havzalarının sınırlarına göre belirlenmiştir.



Şekil 3.22 Güllük Körfezi bütünleşik haritası

Kara ve denizin bütünleşik yükseklik verilerinin elde edilmesiyle birlikte, araziyi daha iyi analiz edebilmek amacıyla otomatik yer şekillerinin sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Otomatik yer şekilleri sınıflandırılması literatürde parametre kombinasyonu, piksel tabanlı, obje tabanlı ve hibrid yöntemler olarak dört ana başlık altında toplanabilir. Yer şekillerinin sınıflandırılması için çalışma alanında Iwahashi and Pike yöntemi [149], Topographic Position Index (TPI: Topografik Konum Endeksi) tabanlı yöntem [150] ve Geomorphon yöntemi [151] olmak üzere 3 farklı yöntem SAGA [152] ve GRASS GIS [153] açık kaynak kodlu yazılım ortamlarında denenmiş olup, çalışma alanına en uygun sonuçları TPI tabanlı yöntemin ürettiği tespit edilmiştir.

TPI, bir sayısal yükseklik modelindeki her bir piksel yüksekliğini belirlenen komşuluk alanındaki ortalama yükseklikler ile karşılaştırılmasıyla oluşturulur. Bu karşılaştırmaya göre pozitif değerlere sahip pikseller komşularından yüksek alanları (sırtları), sıfıra yakın değere sahip pikseller düzlükleri veya sabit eğime sahip alanları, negatif değerli pikseller ise komşularından alçak alanları (vadileri) ifade eder (Şekil 3.22).

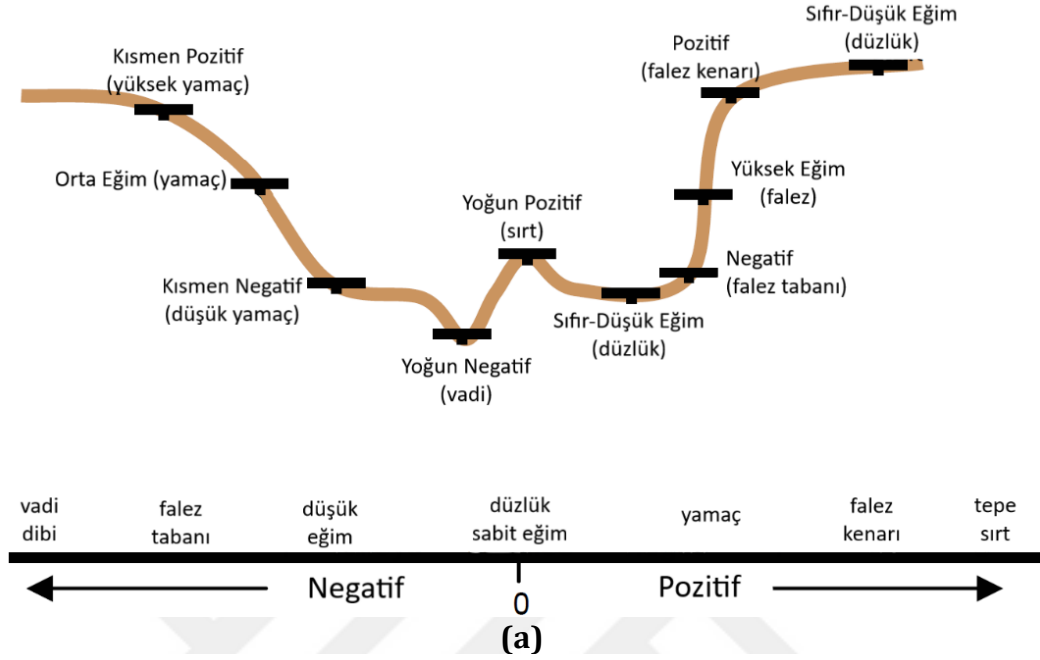


Şekil 3.23 (a) Sırt ve vadi durumu, (b) Sabit eğim ya da düzlük durumu [150]

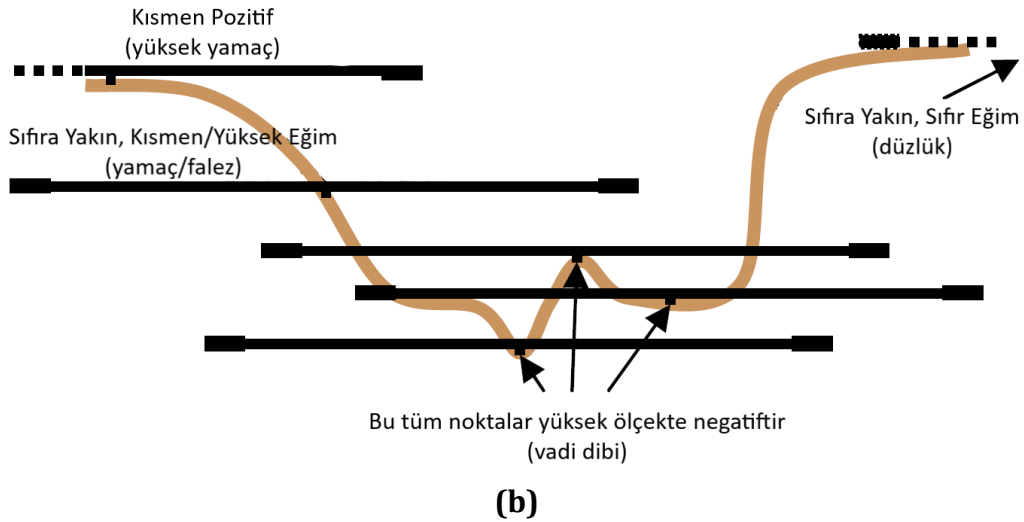
Şekil 3.23’de de görüldüğü gibi TPI ölçeğe bağımlı bir değişkendir. Büyük ve küçük ölçek olmak üzere iki düzeyde eğim konumları belirlenir. Küçük ölçek ile ufak detaylar, sırtlar ve drenajlar bulunur. Büyük ölçek ile ise ana sırt hatları ve drenajların tespiti için kullanılır (Şekil 3.24). Büyük ve küçük ölçeğe göre belirlenen TPI indekslerinin kombinasyonu ile çeşitli yeryüzü şekilleri ayırt edilebilmektedir.

Çalışma alanına ait uzman yorumu ile iyileştirilmiş TPI sınıflandırma sonucu Şekil 3.25’te gösterilmektedir. Alüvyan fan sınıfı TPI sınıflandırmasında bulunmadığı halde, uzman gözlemi sonucu sınıflandırma haritasına eklenmiştir. Sınıflandırma

sonucundan yola çıkarak bölgede yaşamış olan deniz çayırlarının morfolojik olarak nasıl dağılım gösterdiği incelenmiştir. Bölgeye ait 123 adet deniz çayırı noktasının %48'i düzlük, %46'sı yamaç sınıfı içerisinde bulunmaktadır (Şekil 3.26).

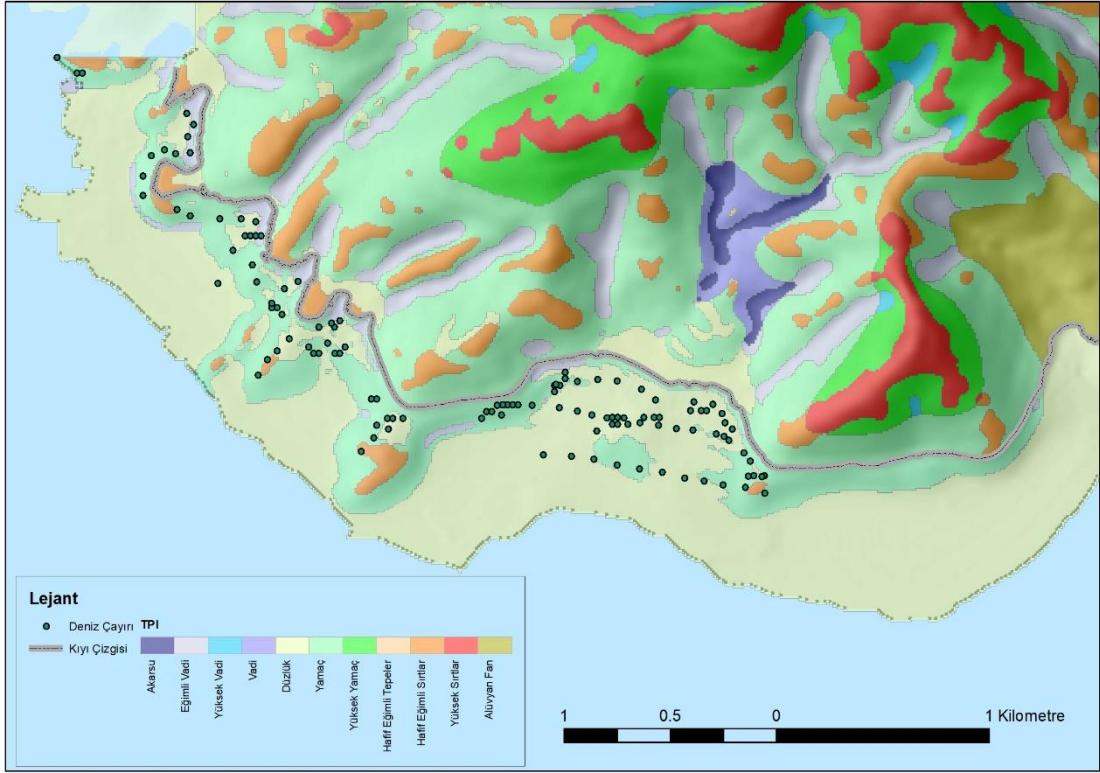


Yüksek ölçek TPI ile bütün çukur bölge vadi olarak tanımlanır

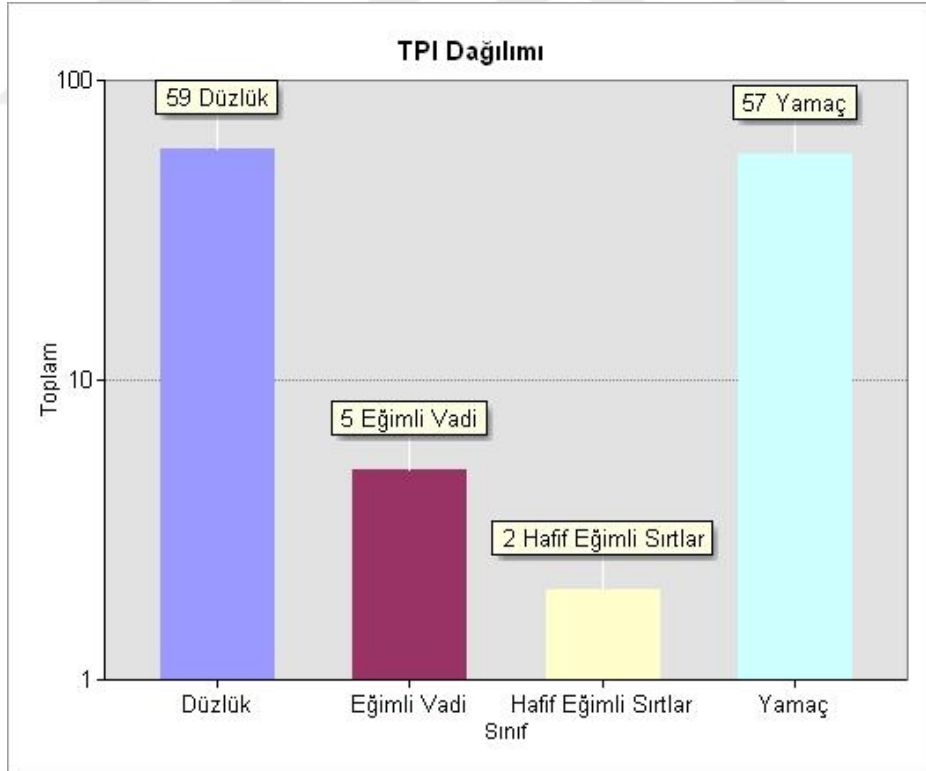


Şekil 3.24 Eğim konumları: düşük ölçek (a), yüksek ölçek (b) [150]

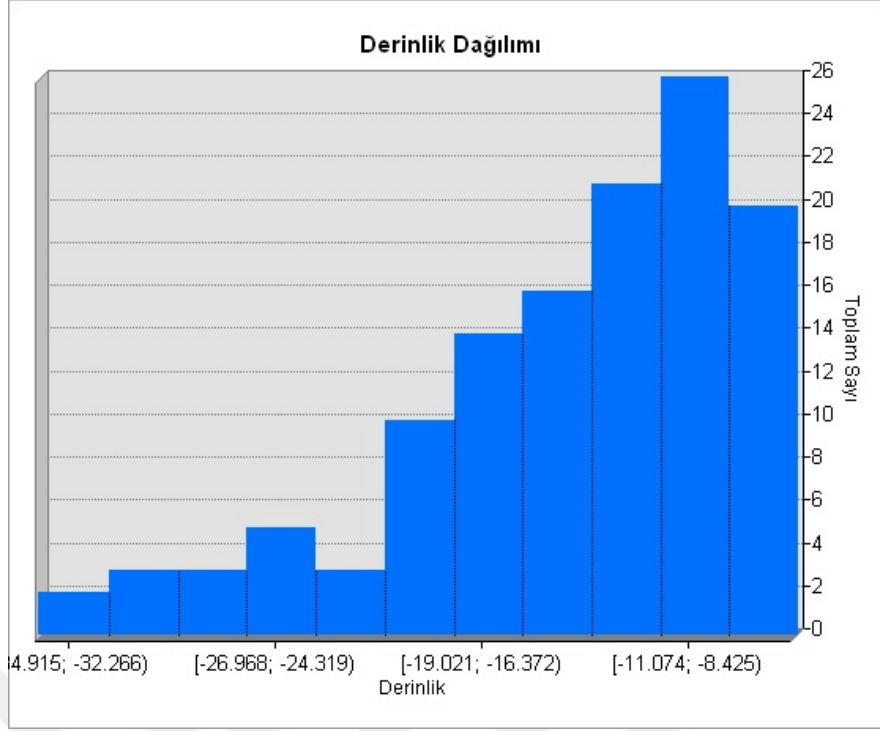
Deniz çayırlarının habitatını etkileyen en büyük etmenlerden biri de ışıktır. Deniz tabanına ulaşan ışık derinlikle birlikte eksponansiyel olarak zayıfladığı için, 50 metreden derin bölgelerde deniz çayırlarına rastlanmamaktadır [137]. Şekil 3.22'de görülebileceği gibi çalışma alanının deniz çayırları 5.7 – 34.9 metre aralığında olup, yoğunluğu 5.7 – 19 metre arasında olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.25 TPI ile yeryüzü şekillerinin sınıflandırma sonucu



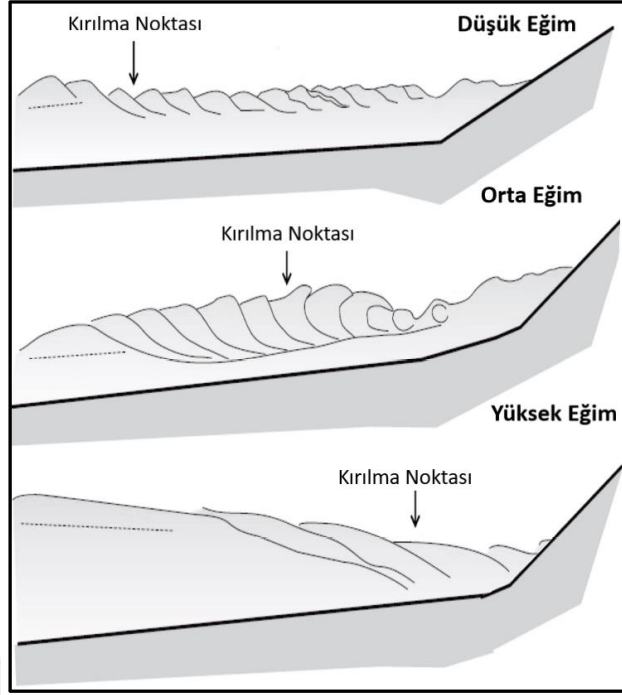
Şekil 3.26 Deniz çayırlarının TPI yeryüzü şekil sınıfları üzerindeki dağılımları



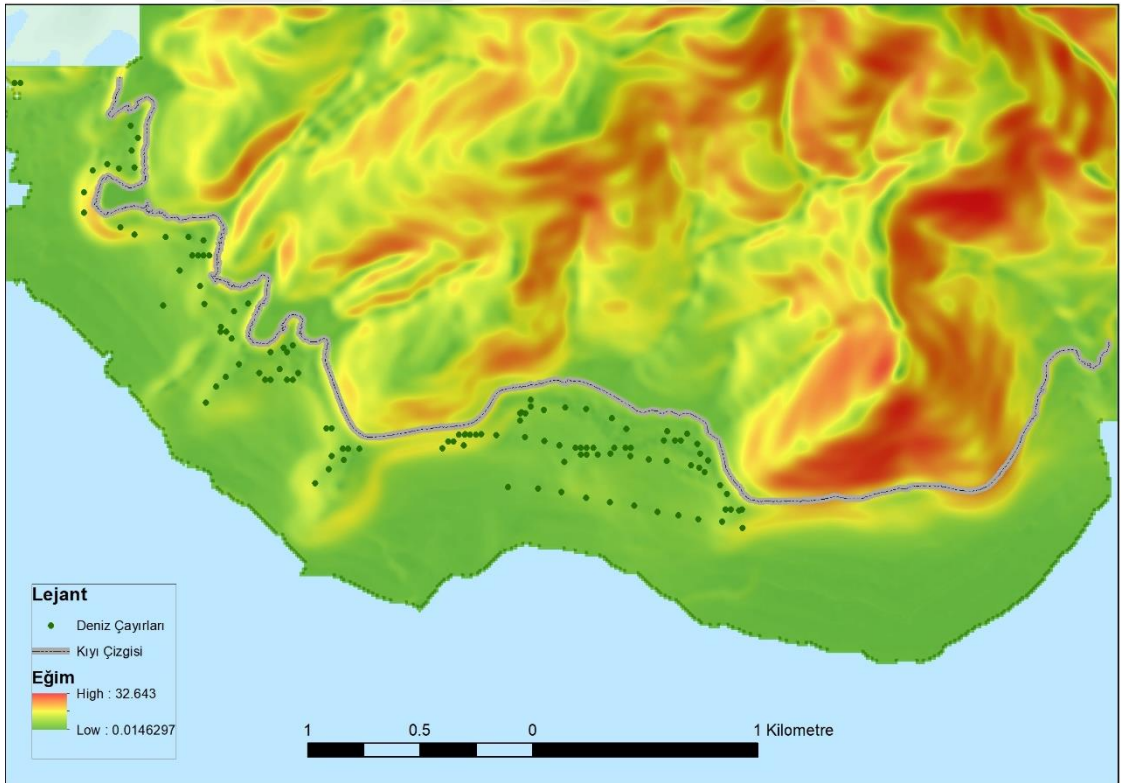
Şekil 3.27 Deniz çayırlarının derinliğe göre yayılım frekansı

Deniz tabanı eğimi, dalga enerjisi, dalga sörf alanı ve dalga kırılma derinliği gibi dalga hareketlerini doğrudan etkilemektedir. Dalga hareketleri sığ alanlarda dip ile etkileşim halinde olmaktadır. Dalga, dip ile etkileşime geçtikten sonra enerjisini koruyabilmek için yüksekliğini artırır. Dalga yüksekliği arttıkça dalganın istikrarı bozulur. Bir noktadan sonra dalga kırılır ve böylece dalganın enerjisi açığa çıkar. Kıyı eğimi ne kadar az olursa, dalga kıyıdan o kadar uzakta kırılır (Şekil 3.28). Buna bağlı olarak dalganın sörf alanı genişler ve dalganın enerjisi kıyıya ulaşana kadar kaybolur. Deniz çayırlarına uygun habitatlar, dalga hakim bölgelerde oluşmamaktadır. Yüksek dalga enerjisinin dip ve kıyıyla girdiği etkileşim deniz çayırı yayılımını olumsuz olarak etkilemektedir. Bu etmenlere bağlı olarak çalışma alanının Eşitlik 3.2'ye göre eğim haritası oluşturulduğunda, bu faktörün çayırların dağılımına doğrudan etki ettiği gözlemlenmiştir (Şekil 3.29). Deniz çayırlarının minimum 1.1°, maksimum 15.9° aralığında olduğu fakat, en çok yoğunluğun 1.1°- 6° arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.30).

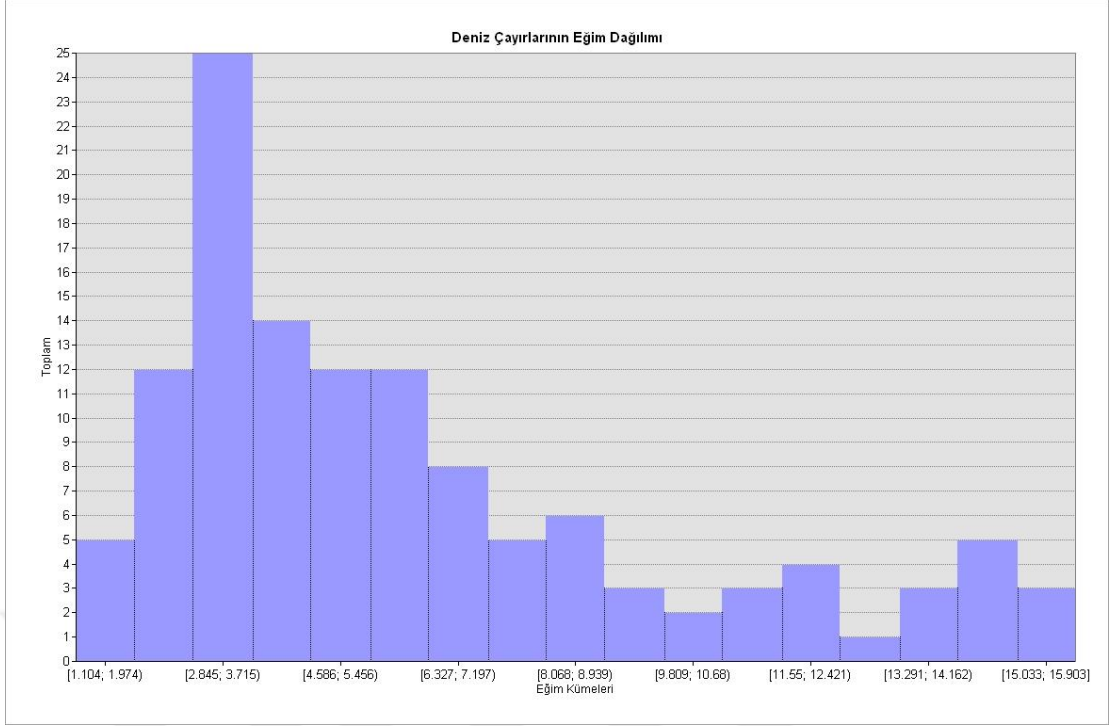
$$Eğim = \text{atan} \left(\sqrt{([\Delta z/\Delta x]^2 + [\Delta z/\Delta y]^2)} \right) \times \frac{180}{\pi} \quad (3.2)$$



Şekil 3.28 Kıyı eğimine bağlı olarak dalga kırılma bölgeleri [154]



Şekil 3.29 Eğim haritası (derece)

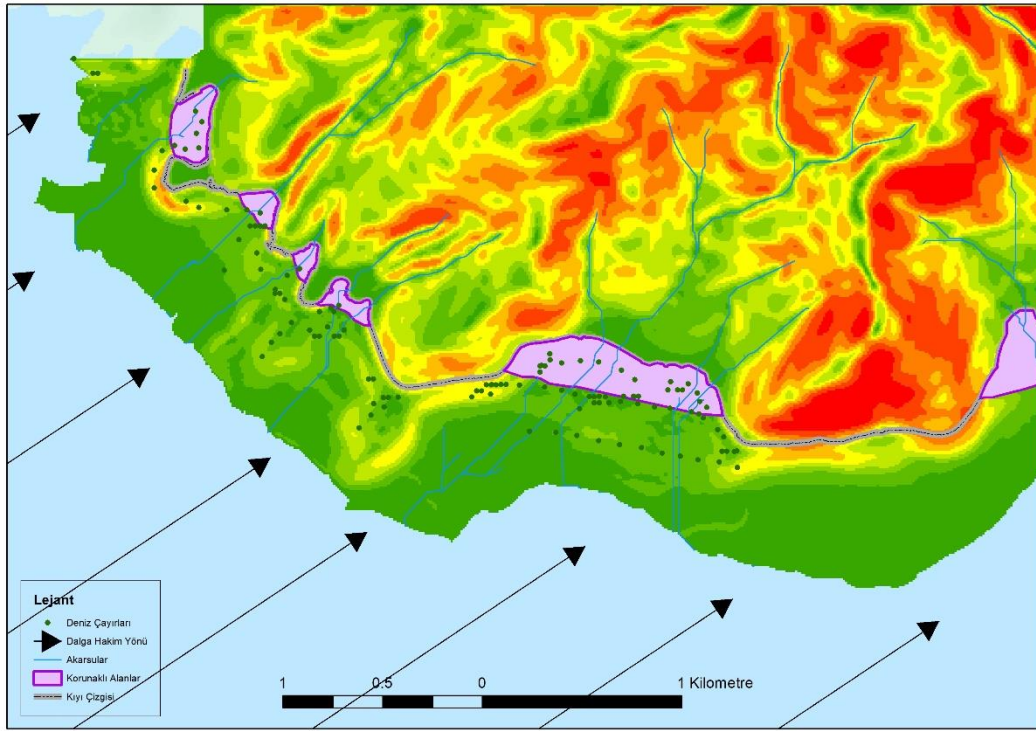


Şekil 3.30 Deniz çayırlarının eğime göre yayılım frekansı

Çalışma alanında, Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü tarafından Bozbük Çevresel İzleme Programı kapsamında 2007 – 2008 yılları arasında rüzgar, dalga, akıntı ve meteorolojik ölçümler gerçekleştirilmiştir [155]. Bu rapordan edinilen bilgiye göre çalışma alanında dalga hakim yönü batı-güneybatı (West-Southwest: WSW) olarak belirlenmiştir. Öncelikle SYM üzerinde açısız bir ölçü olan Topographic Openness [156] analizi gerçekleştirilerek, potansiyel hakim ve çevirme alanları bulunmuştur. Bu veri üzerinden dalga hakim yönü dikkate alınarak dalga korunaklı bölgeler elde edilmiştir (Şekil 3.31). Buna bağlı olarak deniz çayırlarının dalgalardan korunaklı alanlarda daha çok yayıldığı gözlemlenmiştir.

Deniz çayırları gelişimini etkileyen diğer bir faktör ise çökel paketlerinin varlığıdır. Çökeller akarsular ile karadan denize taşınır. Taşınan çökel miktarı, malzemenin türü, akarsuyun enerjisi ve havza boyutuna göre değişkenlik gösterir. Çökel paketleri, akarsular ve yerel yükseklik farklarından yola çıkılarak, bir jeomorfolog uzmanının görüşüyle elde edilmiştir. *P. oceanica* besin açısından zayıf olan oligotrofik bölgeleri tercih etmektedir [157, 158]. Besin maddesince zengin olan eutrofik alanlarda ise *P. oceanica* üzerinde fazlaca epifitik alg gelişimi gözlemlenmektedir. Bu durum da *P. oceanica* çayırlarının güneş ışınlarını alımının

ve dolayısıyla fotosentez veriminin düşmesine neden olmakta ve güneş ışığı için bir rekabet ortamı yaratmaktadır.



Şekil 3.31 Dalganın korunaklı alanları

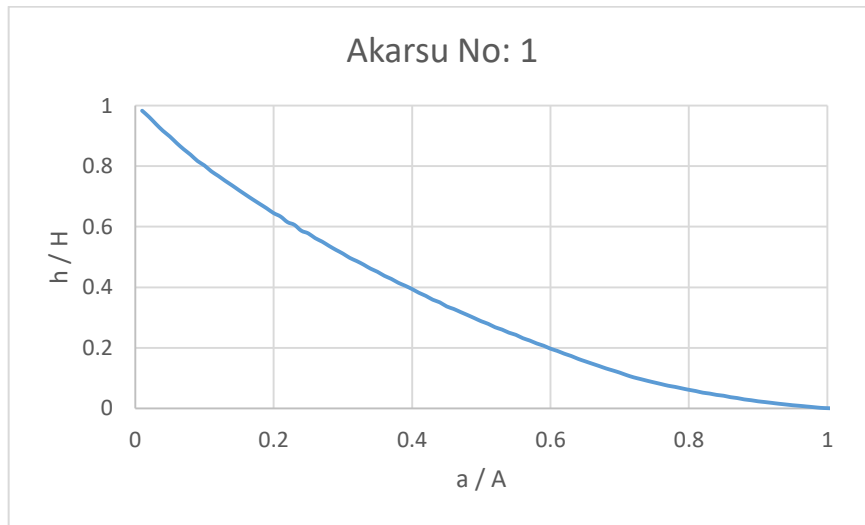
Çökel paketlerinde bulunan besin miktarı akarsuyun yaşlılık derecesine göre değişiklik gösterebilir. Çalışma alanındaki çökel paketlerine dökülen akarsuların yaş evresini tespit etmek amacıyla, her bir akarsuyun hipsometrik eğrilerinin üretilmesine karar verilmiştir. Öncelikle ArcMap Spatial Analyst araçları kullanılarak her bir akarsuya ait havza sınırları elde edilmiştir. Havza sınırları içerisindeki maksimum, minimum ve ortalama yükseklik değerleri kullanılarak Eşitlik 3.3 ile her bir akarsuyun hipsometrik integrali hesaplanmıştır (Tablo 3.5). Bu integral hipsometrik eğri altında kalan normalleştirilmiş alanı ifade eder. Yani büyük değerler gençlik evresine, küçük değerler ise yaşlılık evresine karşılık gelmektedir. Çalışma alanındaki akarsuların birbirlerine yakın hipsometrik integral değerine sahip olduğu ve yaşlılık evresine yakın oldukları gözlemlenmiştir.

$$\text{Hipsometrik İntegral} = \frac{h_{ort} - h_{min}}{h_{maks} - h_{min}} \quad (3.3)$$

Tablo 3.5 Akarsuların hesaplanan hipsometrik integral değerleri

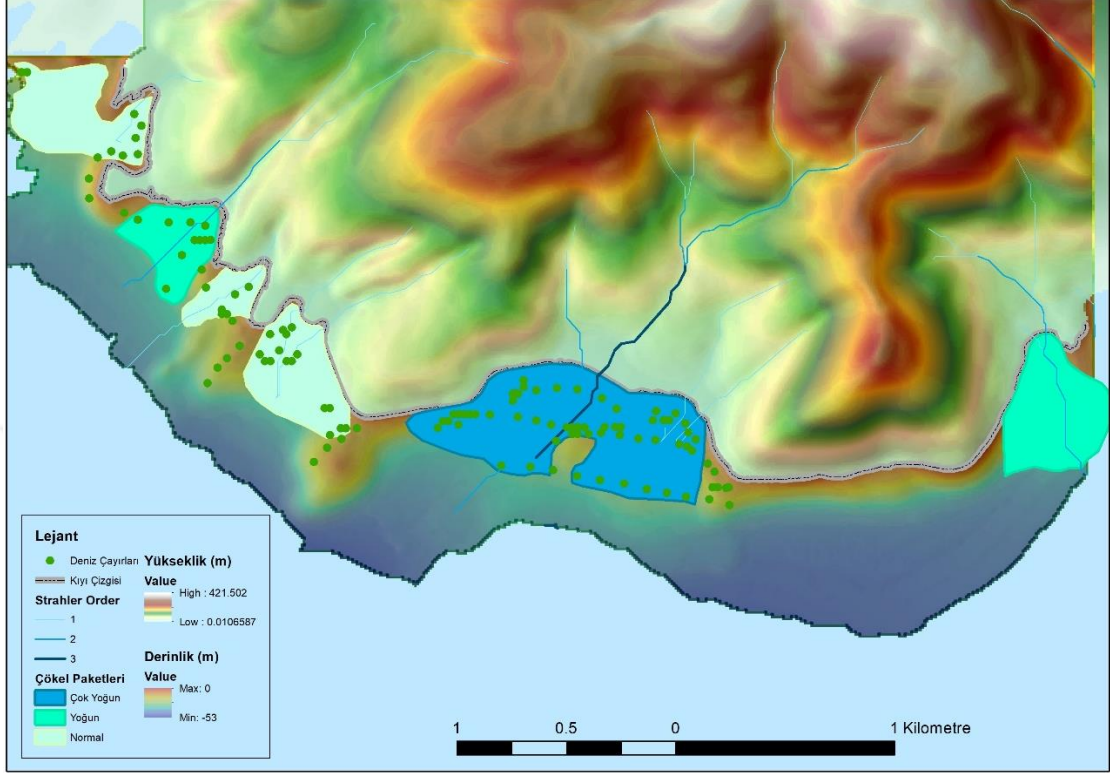
Akarsu No	Hipsometrik İntegral
1	0,35
2	0,35
3	0,35
4	0,31
5	0,33
6	0,31
7	0,34
8	0,43
9	0,46
10	0,33
11	0,23
12	0,34

Hipsometrik eğriler kümülatif alan ve karşılıklı yükseklikler kullanılarak, her bir akarsu için oluşturulmuştur. 1 numaralı akarsuyun hipsometrik eğrisi Şekil 3.32'de görülmektedir. Diğer akarsulara ait hipsometrik eğriler EK C'de verilmiştir. Akarsulara ait hipsometrik eğriler incelendiğinde, akarsuların yaş durumlarının birbirlerine göre belirli fark oluşturmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.32 1 numaralı akarsuya ait hipsometrik eğri

Hipsometrik eğrilerde belirgin fark oluşmadığından, akarsular Strahler sırasına göre sınıflandırılmıştır. Strahler sırasına bağlı olarak çökel paketleri de çok yoğun, yoğun ve normal olarak üçe ayrılmıştır (Şekil 3.33).



Şekil 3.33 Çökel paketleri

Tuzluluk oranından da etkilenen deniz çayırları için en ideal tuzluluk oranı 35 ppt (part per thousand) olarak bilinmektedir. Çalışma bölgesinde yapılan CTD çalışmalarında da bu orana yakın olarak 37-39 ppt aralığında değerler ölçülmüştür. Bu nedenle bitki üzerinde tuzluluk sebebiyle bir baskı oluşmadığı tespit edilmiştir.

Sıcaklık deniz çayırları üzerinde olumsuz etki oluşturabilmektedir. *P. oceanica* çayırlarının ortalama optimum büyüme sıcaklığı yaklaşık olarak 18°C civarındadır [159]. CTD çalışmalarında elde edilen sıcaklık değerleri 16-21°C arasındadır. Her ne kadar sıcaklık ölçümlerinin dönemsel olarak yapılması gereksede, genel olarak sıcaklığın da çalışma bölgesindeki deniz çayırlarında bir baskı oluşturmadığı kanısına varılabilir.

3.4.2 Ölçütlerin Normalleştirilmesi

Deniz çayırlarına uygun habitatların bulunması için belirlenen 5 ölçütün frekanslara ayrılması ve normalleştirilmesi için deniz çayırları konusunda uzmanların görüşlerine başvurulmuştur. Uzmanlar ilgili ölçütlerin hangi frekans aralığında deniz çayırı habitatına hangi derecede etki edeceğini tartışmıştır (Tablo 3.6). Başka bir ifade ile uzmanlar bir ölçütün hangi değerlerde ideal hangi değerlerde uygun olmayan koşulları oluşturduğunu 100 – 0 arasında puanlamıştır. Bu tablodaki frekans aralıkları ve puanlama değerleri baz alınarak, ölçütler 0-1 aralığında normalleştirilmiştir.

Tablo 3.6 Uzman görüşüne göre ölçütlerin frekans ve puanlama değerleri (Yüksek değerler ideal, düşük değerler uygun olmayan koşulları ifade eder)

Ölçüt	Frekans	Puan
Derinlik	< 2 m	20
	2 – 10 m	90
	10 – 15 m	100
	15 – 20 m	90
	20 – 25 m	70
	25 – 35 m	40
	> 35 m	10
Eğim	0 – 5 Derece	100
	5 – 10 Derece	70
	10 – 15 Derece	40
	> 15 Derece	25
Çökel Paketleri	Çok Yoğun Çökel Paketi	40
	Yoğun Çökel Paketi	60
	Normal Çökel Paketi	100
	Paket Yok	15
Korunaklı Alanlar	Evet	100
	Hayır	0
TPI	Düzlük	100
	Yamaç	90
	Dar Vadi	10
	Hafif Eğimli Tepeler	4
	Diğer	0

3.4.3 Ölçütlerin Ağırlıklandırılması

Deniz çayırları için uygun habitat bölgelerinin tespit edilmesinde belirlenen derinlik, eğim, çökel paketleri, TPI ve dalga korunaklı alan ölçütleri AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. AHP, ikili karşılaştırmalardan oluşan uzman görüşüne dayalı, lineer cebir kullanan bir ağırlıklandırma yöntemidir. Bu nedenle öncelikle EK D’de verilen ikili karşılaştırma formu oluşturularak, deniz çayırları konusunda üniversite ve sivil toplum kuruluşu uzmanlarının görüşüne sunulmuştur. Uzmanların ikili karşılaştırmalarının geometrik ortalaması alınarak, Tablo 3.7’de verilen A matrisi oluşturulmuştur. Bu tabloda K1: Derinlik, K2: Çökel Paketleri, K3: Eğim, K4: Dalga Korunaklı Alan ve K5: TPI ölçütünü göstermektedir.

Tablo 3.7 A Matrisi

	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5
Ö1	1.00	7.94	7.09	3.00	8.49
Ö2	0.13	1.00	0.53	0.97	4.73
Ö3	0.14	1.88	1.00	0.98	2.34
Ö4	0.33	1.03	1.02	1.00	2.41
Ö5	0.12	0.21	0.43	0.42	1.00

A matrisi Eşitlik 2.32’ye göre her değerın sütün toplamına bölünmesiyle normalleştirilerek, A_{norm} matrisi elde edilir (Tablo 3.8). Normalleştirilmiş matriste sütün toplamları 1’e eşit olmaktadır.

Tablo 3.8 A_{norm} Matrisi

	Ö1	Ö2	Ö3	Ö4	Ö5
Ö1	0.582	0.658	0.704	0.471	0.447
Ö2	0.073	0.083	0.053	0.152	0.249
Ö3	0.082	0.156	0.099	0.154	0.123
Ö4	0.194	0.086	0.101	0.157	0.127
Ö5	0.069	0.017	0.043	0.066	0.054

Eşitlik 2.33'e göre A_{norm} matrisindeki her satırın aritmetik ortalaması alınarak, W ağırlık matrisi elde edilir (Tablo 3.9). Buna göre, en yüksek ağırlık 0.573 ile derinlik ölçütüne, en düşük ağırlık ise 0.049 ile TPI ölçütüne aittir. Diğer üç ölçüt birbirine yakın ağırlık değerleri ile elde edilmiştir.

Tablo 3.9 W matrisi

Derinlik	0.573
Çökel Paketleri	0.122
Eğim	0.123
Dalga Korunaklı Alan	0.133
TPI	0.049

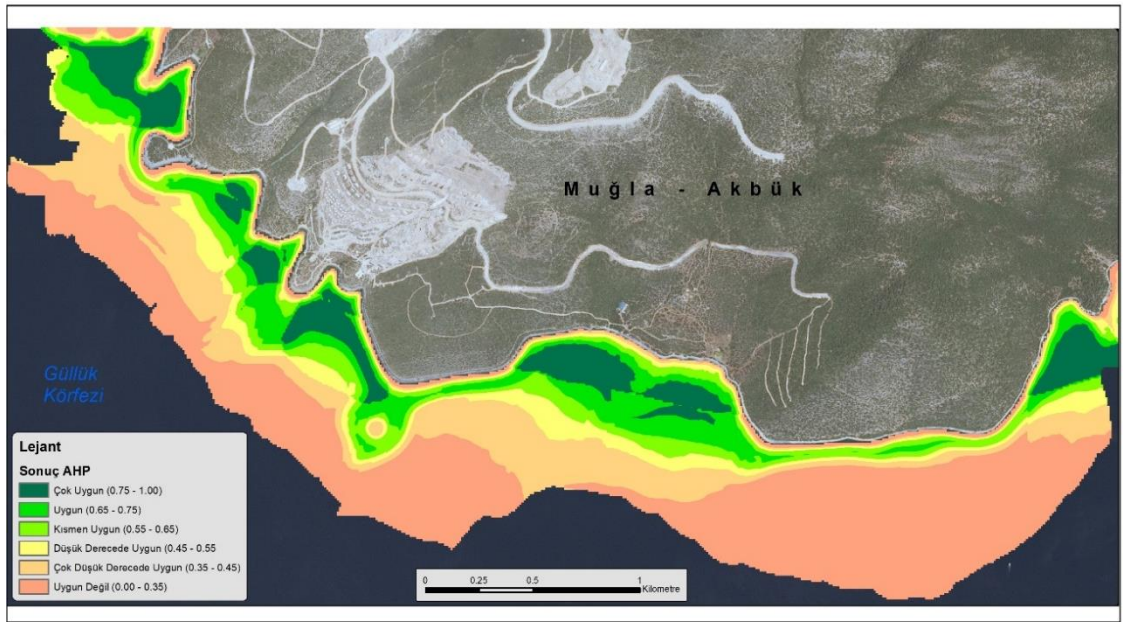
Elde edilen ağırlıkların tutarlılıklarının test edilmesi için öncelikle Eşitlik 2.35'e göre λ değeri 5.3097 olarak hesaplanmıştır. Bu değer ile Eşitlik 2.36'ya göre tutarlılık göstergesi 0.0774 olarak elde edilmiştir. Tablo 2.5'e göre 5 ölçütlü bir hiyerarşide rastgele gösterge 1.12 olarak belirlenmiştir. Eşitlik 2.37'ye göre tutarlılık göstergesinin, rastgele göstergeye oranı ile bulunan tutarlılık oranı 0.0691 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan tutarlılık oranı 0.1'den küçük olduğu için elde edilen ağırlıkların tutarlı olduğu tespit edilmiştir.

3.5 CBS-ÇÖKV Analizi

AHP yöntemiyle elde edilen ağırlıklar ve normalleştirilmiş ölçüt katmanları ArcMap ortamında entegre edilerek, çalışma alanının deniz çayırı habitatına uygunluk haritası oluşturulmuştur. Ölçüt katmanları 10 x 10 metre boyutunda olduğu için, aynı boyutta grid verisi oluşturularak, konumsal analizler ile ilgili gridlere normalleştirilmiş değerlerin girişi yapılmıştır. Son olarak Eşitlik 2.42'ye göre normalleştirilmiş ölçütlerin ilgili ağırlığı ile çarpım toplamları ile her gride ait sonuç değerler elde edilmiştir. Sonuç değerler Jenk'in Doğal Aralık yöntemi [160] ile Çok Uygun, Uygun, Kısmen Uygun, Düşük Derecede Uygun, Çok Düşük Derecede Uygun

ve Uygun Değil olmak üzere 6 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflandırmanın uygun olduğunu belirlemek için varyans uygunluğu (goodness of variance fit) hesaplanmıştır. Varyans uygunluğu en kötü 0 ve en iyi 1 olmak üzere normalize bir değerdir. Bu tez çalışmasında varyans uygunluğu 0.9672 olarak elde edilmiştir.

CBS-ÇÖKV analizi ile elde edilen deniz çayırı habitatına uygunluk haritası ve sınıflara göre dağılım değerleri sırasıyla Şekil 3.34 ve Tablo 3.10'da verilmiştir. Buna göre çalışma alanının %20.32'sine karşılık gelen 83,44 hektarlık alan, deniz çayırı habitatına uygun olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.34 Güllük Körfezi deniz çayırı habitatına uygunluk haritası

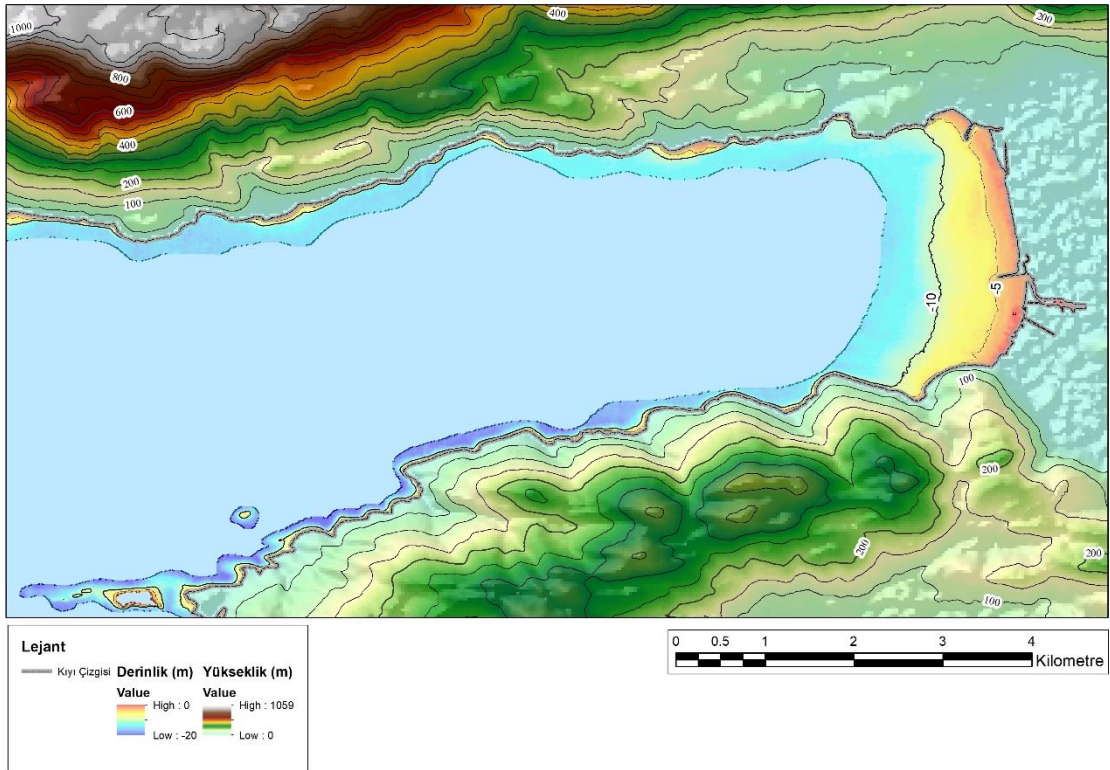
Tablo 3.10 Güllük Körfezi çalışma alanının deniz çayırı habitat uygunluğuna göre dağılım değerleri

Habitat Uygunluğu	Piksel Sayısı	Alan (ha)	Yüzde (%)
Çok Uygun	4012	40.12	9.77
Uygun	4332	43.32	10.55
Kısmen Uygun	4099	40,99	9.98
Düşük Derecede Uygun	3740	37.40	9.11
Çok Düşük Derecede Uygun	7447	74.47	18.13
Uygun Değil	17443	174.43	42.47
Toplam	41073	410.73	100.00

Oluşturulan haritanın doğruluk analizi için arazi noktaları kullanılmıştır. Çok Uygun ve Uygun sınıfına giren arazi noktaları doğru sınıflandırılmış olarak kabul edilmiştir. Bu kabul doğrultusunda 122 adet yer gerçeklik noktasının 93 tanesi (%75.6) doğru olarak sınıflandırılmıştır. Kalan 23 nokta Kısmen Uygun (17 adet - %13.9), Düşük Derecede Uygun (11 adet - %9) ve Çok Düşük Derecede Uygun (1 adet - %0.8) sınıflarına dağılmıştır.

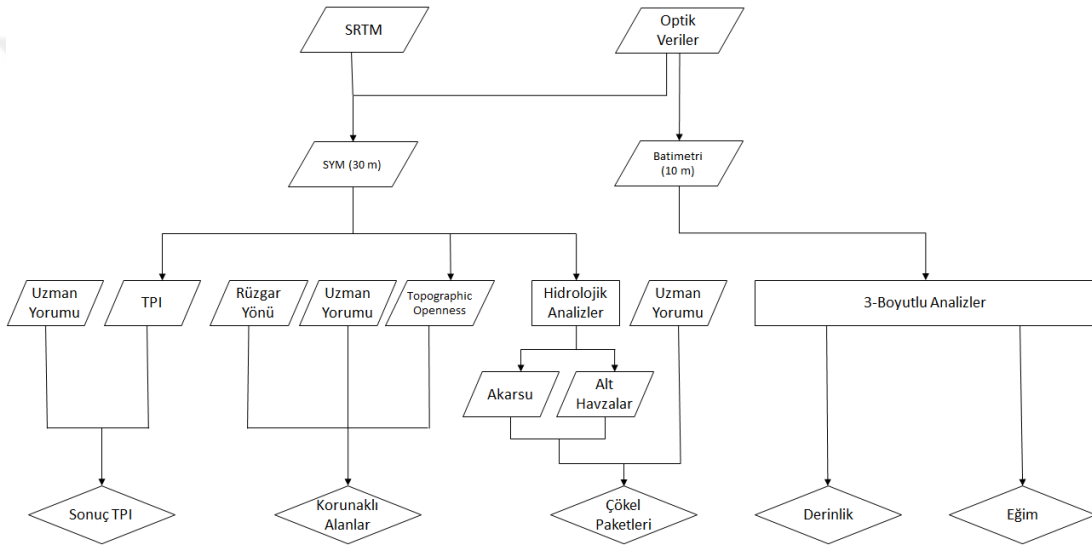
3.6 Gökova Örneği

Güllük Körfezi'nde ÇBİ ve uydu görüntüsü verileri ile AHP kullanılarak geliştirilen modelin, deniz çayırlarına uygun olan Gökova Körfezi'nde test edilmesi amaçlanmıştır. Fakat Gökova Körfezi'ne ait akustik veriler elde edilemediğinden, derinlik bilgisi için optik uydu görüntüsü kullanılmıştır. Karaya ait yükseklik verisi için ise Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından ücretsiz kullanıma sunulan 30 metre geometrik çözünürlüğe sahip global SRTM verileri kullanılmıştır (Şekil 3.35).



Şekil 3.35 Gökova Körfezi çalışma alanı

Geliştirilen modelin Gökova çalışma alanına uygulanabilmesi için öncelikle ölçüt katmanlarının hazırlanması gerekmektedir (Şekil 3.36). Derinlik ölçütü için, optik uydu görüntüsünden 1.5 metre aralıklarla elde edilen derinlik verileri, ortaya çıkan gürültü hatalarını minimize etmek amacıyla 10 x 10 metrelik gridlere örneklenmiştir. 10 metre çözünürlüklü batimetri verisi kullanılarak Eşitlik 3.2 ile eğim katmanı elde edilmiştir. Çökel paketleri, korunaklı alanları ve TPI ölçütü için SRTM ve optik uydu görüntüsünden elde edilen derinlikler entegre edilerek 30 x 30 metrelik kara ve deniz bütünleşik yükseklik modeli oluşturulmuştur. TPI ölçütü için bu yükseklik modeli kullanılarak TPI tabanlı yeryüzü şekilleri sınıflandırılması ile ilgili katman oluşturulmuştur.



Şekil 3.36 Gökova için ölçüt katmanlarının hazırlanması ve veri kaynakları

Çökel paketleri ölçütü için oluşturulan yükseklik modeli üzerinden hidrolojik analizler ile akarsular çıkarılarak, uzman yorumu ile akarsuların döküldüğü alanda paketler belirlenmiştir. Paketler, geliştirilen modele uygun şekilde akarsuların Strahler sırasına göre Çok Yoğun, Yoğun ve Normal Çökel Paketi olarak üçe ayrılmıştır.

Korunaklı alanlar ölçütü için ise dalga hakim yönü bilgisi gereklidir. Fakat çalışma alanında bu konuda yapılmış bir çalışma veya rapor bulunmamaktadır. Bu nedenle dalga oluşturabilecek rüzgar yönlerinin baz alınmasına karar verilmiştir. Çalışma bölgesine yakın Marmaris ve Bodrum olmak üzere iki adet meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Marmaris [161] ve Bodrum [162] meteoroloji istasyonları yıllık

verilerine göre dalga oluşturacak rüzgarların ağırlıklı olarak kuzey batı yönünde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Rüzgar yönü bilgisi ve Topoğrafik Açıklık analizi sonuçları incelenerek, dalga korunaklı alanlar tespit edilmiştir.

Tüm ölçüt katmanı verileri 10 x 10 metrelik gridlere girilerek, yapılan anketler ışığında normalleştirilmiştir. Aynı şekilde anketlerden elde edilen ağırlıklar kullanılarak, her bir grid için sonuç değerler hesaplanmıştır. Bu hesaplama sonucu Gökova Körfezi için deniz çayırı habitat uygunluk haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.37). Bu çalışma alanı maksimum 20 metre ile sınırlandırıldığı ve düşük eğim değerlerine sahip olması sebebiyle, sonuç değerler yüksek ve birbirine yakın olarak elde edilmiştir. Bu nedenle, sonuçların daha iyi ayırt edilebilmesine yardımcı olmak amacıyla değerler Güllük Körfezi'nden farklı olarak, yine Jenk'in Doğal Aralıklar yöntemi kullanılarak 9 sınıfa ayrılmıştır. Gridlerin sınıflara göre dağılım miktarları ve alansal değerler Tablo 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.37 Gökova Körfezi deniz çayırı habitatına uygunluk haritası

Tablo 3.11 Gökova Körfezi çalışma alanının deniz çayırı habitat uygunluğuna göre dağılım değerleri

AHP Sonuç	Piksel Sayısı	Alan (ha)	Yüzde (%)
0.95 - 0.82	6726	67.26	8.03
0.82 - 0.77	6822	68.22	8.14
0.77 - 0.72	23403	234.03	27.93
0.72 - 0.64	17741	177.41	21.18
0.64 - 0.54	8362	83.62	9.98
0.54 - 0.45	8369	83.69	9.99
0.45 - 0.35	5308	53.08	6.34
0.35 - 0.25	3993	39.93	4.77
0.25 - 0.07	3058	30.58	3.65
Toplam	83782	837.82	100.00

Deniz çayırlarına uygun habitat alanlarının belirlenebilmesi için tasarlanan CBS ve AHP tabanlı modelde; derinlik, eğim, çökel paketleri, dalga korunaklı alan ve TPI olmak üzere 5 ölçüt incelenmiştir. Tasarlanan modeldeki ölçüt katmanlarının oluşturulması için ÇBI akustik verileri, multispektral optik uydu görüntüsü, karaya ait yükseklik eğrileri, deniz çayırlarının arazideki konumları, yıllık dalga raporları, su seviyesi değişimi ve CTD verileri kullanılmıştır. Deniz çayırı konusunda uzman üniversite ve sivil toplum kuruluşu mensupları ile anketler düzenlenerek, AHP yardımı ile her bir ölçütün deniz çayırı habitatına olan ağırlıkları elde edilmiştir.

Güllük Körfezi'ndeki çalışma alanında geliştirilen model ile, çalışma alanının %20.32'sine karşılık gelen 83.44 hektarlık alan, deniz çayırı habitatına uygun olarak bulunmuştur. Arazi çalışmalarından elde edilen deniz çayırı konumları kullanılarak yapılan doğruluk analizinde, modelin doğruluğu %75.6 olarak elde edilmiştir.

Model, aynı zamanda yüksek maliyet ve yoğun arazi çalışması gerektiren akustik verilerin mevcut olmadığı Gökova Körfezi'nde test edilmiştir. Geliştirilen model, bu çalışma alanında sadece uydu görüntüsü ve SRTM verileri kullanılarak uygulanmıştır. Aynı zamanda, Gökova Körfezi'nde uydu görüntüsüne DVM ve RO makine öğrenme sınıflandırma teknikleri uygulanarak, sınıflandırma sonuçlarının model sonuçları ile karşılaştırılması planlanmıştır. Bu karşılaştırma su bulanıklığı sebebiyle Güllük Körfezi çalışma alanında gerçekleştirilememiştir.

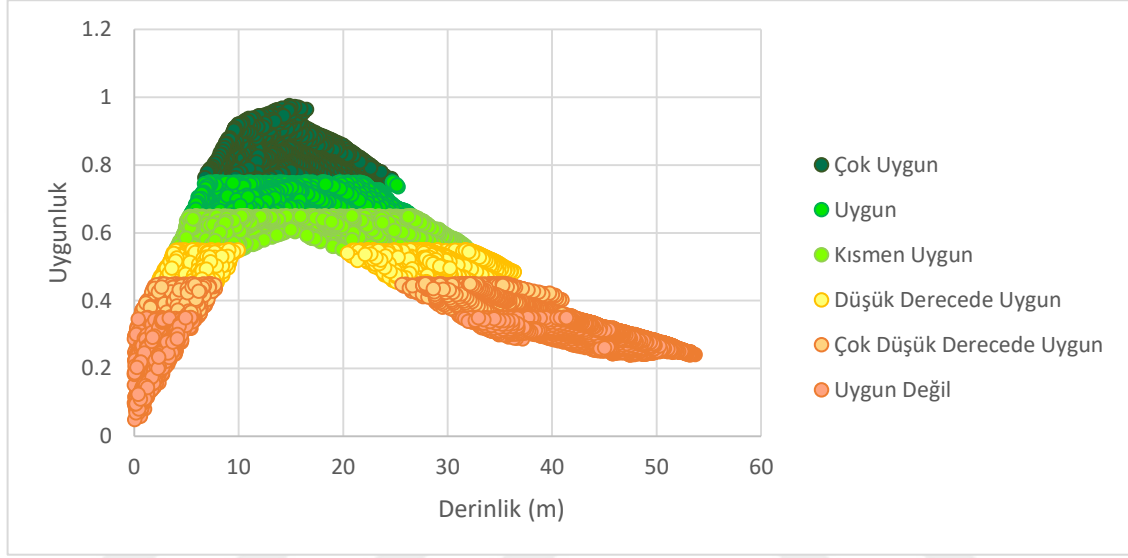
Ağırlıkların belirlenmesinde lineer cebire dayalı AHP yöntemi kullanılmıştır. Anket sonuçları ve AHP analizine göre; derinlik, dalga korunaklı alan, eğim, çökel paketleri ve TPI ölçütlerinin ağırlıkları sırasıyla 0.573, 0.133, 0.123, 0.122 ve 0.049 olarak elde edilmiştir. Ağırlıklar incelendiğinde, deniz çayırı habitatının yüksek derecede derinliğe bağlı olduğu söylenebilir. Bu ölçüt Tablo 3.6'ya göre incelendiğinde, sığ deniz alanları kıyı yapıları ve demirleme aktiviteleri, derin bölgelerde ise ışığın sudaki geçirgenliği azalması sebebiyle deniz çayırlarına uygun habitat

oluşturmadığı gözlemlenmektedir. Dalga korunaklı alan, eğim ve çökel paketleri ölçütleri için birbirlerine oldukça yakın ağırlıklar elde edilmiştir. Dalga kırılma ve sörf bölgesinde oluşan enerjiden korunan alanların deniz çayırlarının yayılımını olumlu etkilediği görülmüştür. Eğim arttıkça deniz çayırının zemine tutunması güçleşeceğinden, eğim ve deniz habitatu uyumluluğu ters orantılıdır. Deniz çayırları az miktarda besine ihtiyaç duyan bir canlıdır. Fakat, bölgede deniz çayırının ihtiyacından fazla besin olması, bölgeye istilacı türlerin gelmesine sebep olarak, deniz çayırı habitatını bozabilmektedir. Pikselin komşu pikseller ile karşılıklı yükseklik ilişkisine dayalı TPI ölçütünün ise, deniz çayırı habitatına etki ağırlığı düşük düzeydedir. Bununla birlikte, deniz çayırlarının çoğunlukla düzlük ve yamaç sınıflarında bulunduğu belirlenmiştir.

Ölçüt katmanları CBS ortamında 10 x 10 metrelik gridlere normalleştirilerek aktarılmıştır. Ölçüt katmanları ve elde edilen ağırlıklar kullanılarak, deniz çayırı habitatı uygunluk haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.34). Maksimum ve minimum değerler sırasıyla 0.98 ve 0.05 olarak elde edilmiştir. Elde edilen değerler Çok Uygun, Uygun, Kısmen Uygun, Düşük Derecede Uygun, Çok Düşük Derecede Uygun ve Uygun Değil olmak üzere 6 sınıfa ayrılmıştır. Güllük Körfezi çalışma alanının %20.32'sine karşılık gelen 83.44 hektarlık alan, deniz çayırı habitatına uygun olarak bulunmuştur. Arazi çalışmalarından elde edilen 122 deniz çayırı konumundan, deniz çayırı habitat uygunluk haritasında Çok Uygun ve Uygun sınıfına karşılık gelen 93 nokta bulunmaktadır. Buna bağlı olarak geliştirilen modelin doğruluğu %75.6 olarak hesaplanmıştır.

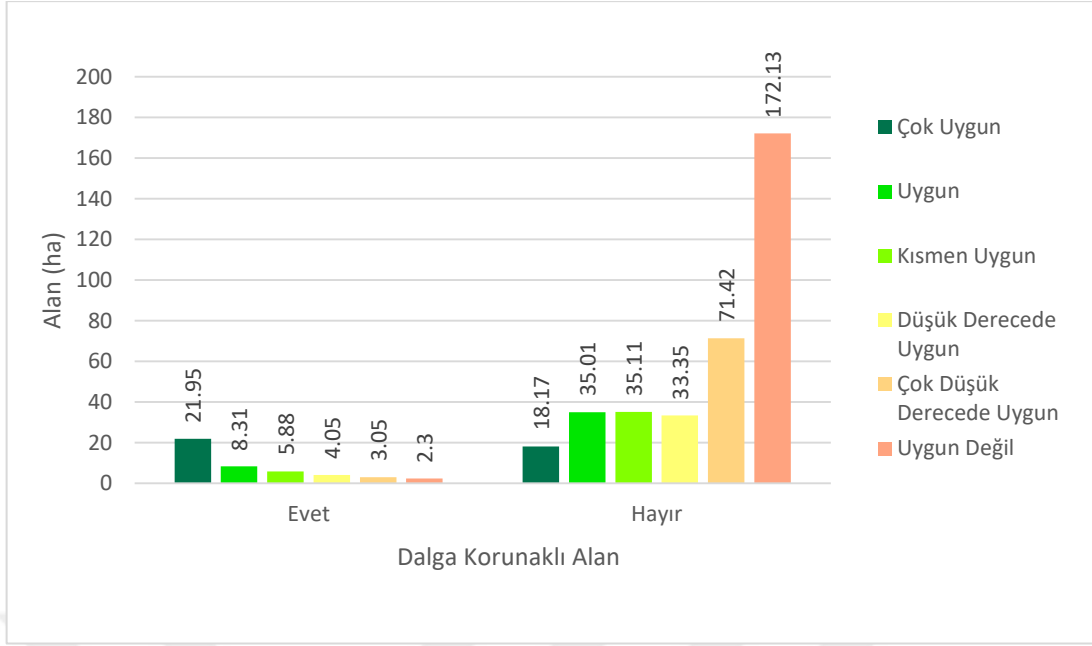
Deniz çayırı habitat uygunluk haritası incelendiğinde, modele göre bu çalışma bölgesinde deniz çayırlarına en düşük 5.4 metre, en yüksek 26.5 metre derinlikte uygun habitat (Çok Uygun ve Uygun Sınıfları) bulunmaktadır. Bölgede bulunan kıyı yapıları ve insan aktiviteleri göz önünde bulundurulduğunda modele göre elde edilen uygun habitat için en düşük derinlik makul bir değerdir. Aynı şekilde, çalışma bölgesinin açıklarında bulunan balık çiftliklerinin suya bıraktıkları yem miktarı, bulanıklığa sebep olarak, ışığın sudaki geçirgenliğini azaltmaktadır. Buradan yola çıkarak, modelde elde edilen maksimum derinlik değeri, çalışma bölgesindeki mevcut durum ile örtüştüğü gözlemlenmiştir. Sadece 'Çok Uygun' sınıfı

incelendiğinde ise derinlik aralığı 6.7 ve 24.7 metre arasında değişmektedir. Deniz çayırı habitat uygunluğu değerlerinin, derinliğe göre dağılım grafiği Şekil 4.1’de görülmektedir. Grafik incelendiğinde uygunluk değerlerinin, AHP ağırlıklarına bağlı olarak, beklendiği gibi derinliğe oldukça bağımlı olduğu gözlemlenmektedir. Örneğin; diğer ölçütlerin uygun olmadığı durumlarda bile 10-20 metre derinlik aralığında en düşük ‘Kısmen Uygun’ sınıfına rastlanmıştır. Buna bağlı olarak en yüksek uygunluk değerleri, bu derinlik aralığında elde edilmiştir.



Şekil 4.1 Derinliğe göre deniz çayırı habitat uygunluk değerleri dağılımı

Deniz çayırı habitat uygunluğu değerlerinin, dalga korunaklı alana göre dağılım grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir. Dalga korunaklı alan ölçütünün sağlandığı bölgelerde yoğun şekilde habitat uygunluğu gözlemlenmektedir. Örneğin; dalga korunaklı alanlarda ‘Çok Uygun’ ve ‘Uygun’ sınıfındaki alanların toplamı (30.26 ha) diğer dört sınıftaki alanların toplamının (15.28 ha) yaklaşık olarak iki katıdır. Buradan yola çıkarak, dalga korunaklı alanların varlığı, deniz çayırına uygun habitat potansiyelini önemli bir biçimde arttırdığı görülmüştür. Bununla birlikte bir bölgenin dalga korunaklı olmaması alanın deniz çayırı habitat uygunluğunu tamamen engelleyici bir etmen olmadığı gözlemlenmiştir.

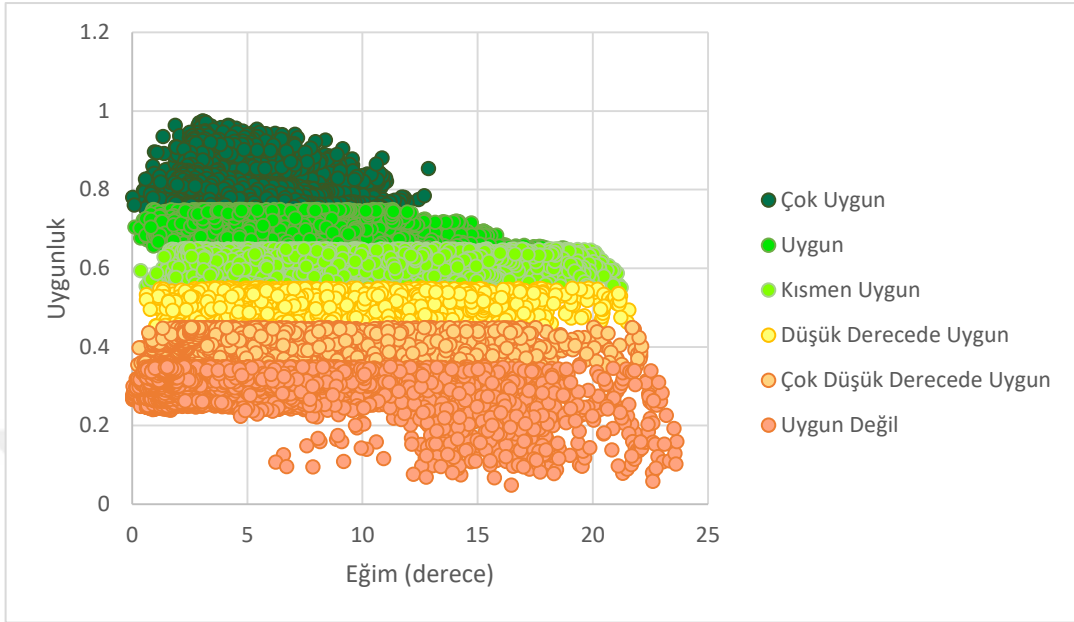


Şekil 4.2 Dalga korunaklı alanlara göre deniz çayırı habitat uygunluk değerleri dağılımı

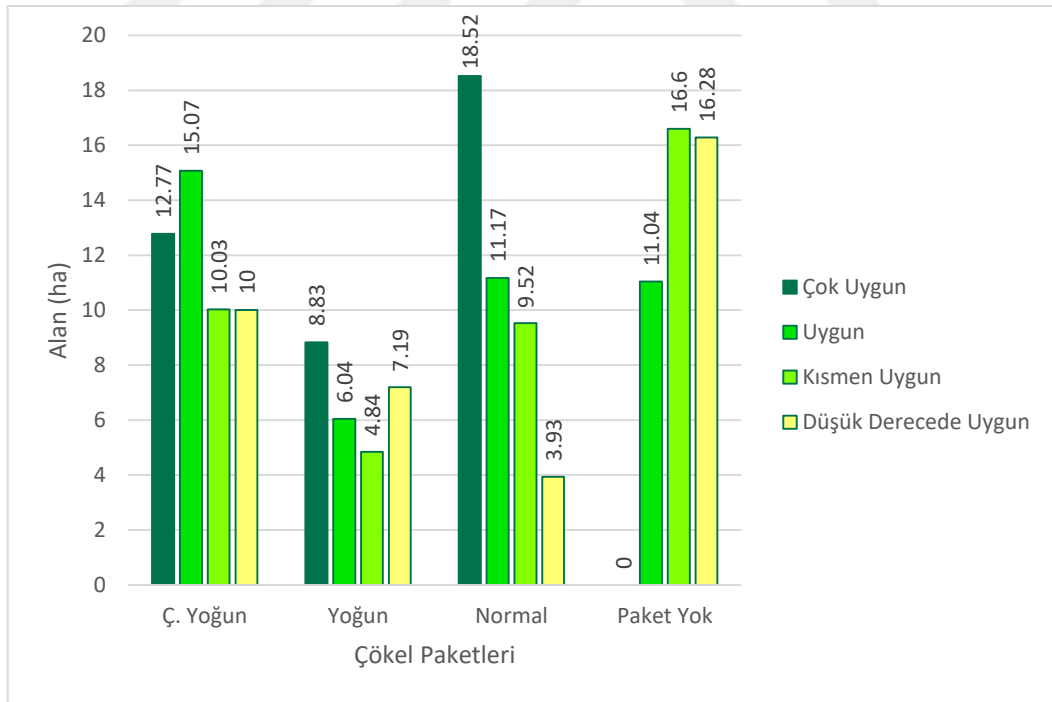
Modele göre 'Çok Uygun' ve 'Uygun' sınıftaki alanlarda, maksimum eğim 18.7 derece olarak hesaplanmıştır. Sadece 'Çok Uygun' sınıfı incelendiğinde ise maksimum eğim değeri 12.8'e düşmektedir. Deniz çayırı habitat uygunluğu değerlerinin, eğime göre dağılım grafiği Şekil 4.3'de görülmektedir. Her ne kadar düşük eğim deniz çayırı için olumlu bir etmen olsa da, bu ölçütün ağırlığı sebebiyle tek başına yeterli olmamaktadır. Buna rağmen, en düşük uygunluk değerleri 15 derece ve üstü eğime sahip alanlarda elde edildiği gözlemlenmiştir. En yüksek uygunluk değerlere ise 1.4 ve 6 derece aralığında rastlanmıştır.

Deniz çayırı habitat uygunluğu değerlerinin, çökel paketlerine göre dağılım grafiği Şekil 4.4'de verilmiştir. Grafikte 'Çok Düşük Derecede Uygun' ve 'Uygun Değil' sınıfları 'Paket Yok' çökel tipinde yığılma yarattığı için (sırasıyla 63.2 ha ve 172.55 ha), bu grafiğe dahil edilmemiştir. Bu sınıflara ait grafikler EK-E'de verilmiştir. Beklendiği gibi, normal çökel paketlerinin bulunduğu bölgelerde daha çok deniz çayırına uygun habitatlara rastlanmıştır (29.69 ha). Beklenenin aksine 'Yoğun' çökel alanlarında, 'Çok Yoğun' çökel alanlarından daha az uygun habitat alanına rastlanmıştır. Bu durum, 'Çok Yoğun' çökel alanlarının 'Yoğun' çökel alanlarına göre diğer ölçütlerde daha üstün olduğu anlamına gelmektedir. Deniz çayırı minimum

düzeyde besine ihtiyaç duyan bir canlıdır. 'Paket Yok' çökel sınıfı incelendiğinde, her ne kadar 11.04 hektarlık bir alan 'Uygun' habitat sınıfına dahil olsa da, bu çökel paketi tipinde 'Çok Uygun' habitat sınıfına rastlanmamıştır.

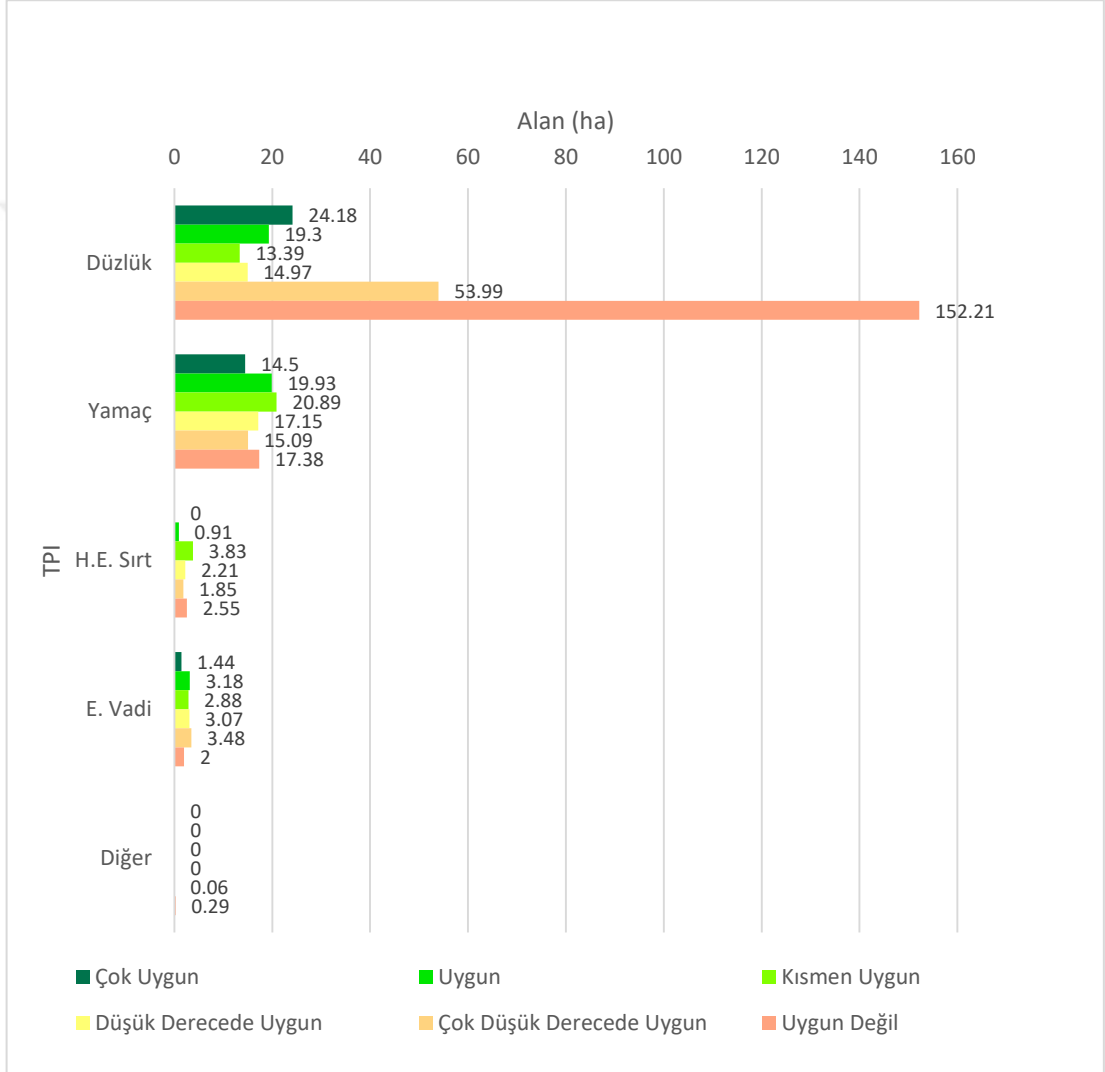


Şekil 4.3 Eğime göre deniz çayırı habitat uygunluk değerleri dağılımı



Şekil 4.4 Çökel paketlerine göre deniz çayırı habitat uygunluk değerleri dağılımı

Deniz çayırı habitat uygunluğu değerlerinin, TPI sınıflarına göre dağılım grafiği Şekil 4.5'te görülmektedir. Grafik incelendiğinde çalışma alanının çoğunlukla 'Düzlük' ve 'Yamaç' sınıfından oluştuğu gözlemlenmektedir. Bu iki sınıf habitat açısından uygun bir etmen olmasına rağmen, ölçüt ağırlığına bağlı olarak belirleyici bir etkisi olmamaktadır. 'Yamaç' sınıfında dağılımlar birbirine yakın olduğu gözükse de, 'Uygun Değil' sınıfındaki alanların çoğunlukla 'Düzlük' sınıfında yığılma yarattığı görülmektedir.

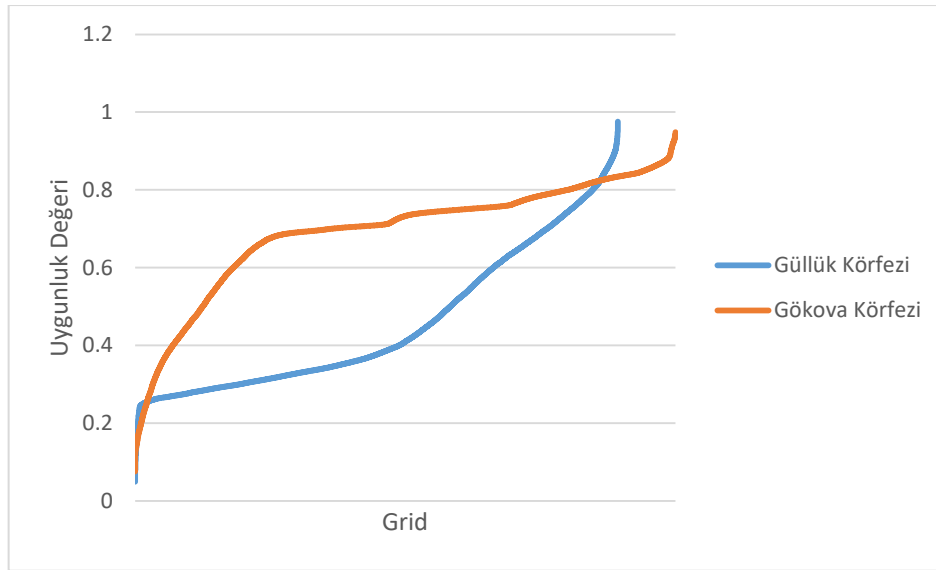


Şekil 4.5 TPI'e göre deniz çayırı habitat uygunluk değerleri dağılımı

Geliştirilen modelin Gökova Körfezi'ne uygulanabilmesi için gerekli derinlik verisi için yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü kullanılmıştır. Uydu görüntüsünden derinlik elde etmek için Stumpf 2003 modeli kullanılmıştır. Dip albedosundan bağımsız olarak farklı bantların sudaki emilim oranına dayalı olan bu model aynı

zamanda, Güllük Körfezi'nde ÇBİ ve kara arasındaki sığ sularda derinlik verisi boşluğunu gidermek için kullanılmıştır. Güllük Körfezi'ndeki çalışma alanında Stumpf 2003 modeli düzeyde 1.74 metre karesel ortalama hata ile derinlik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen hata düzeyi Stumpf 2003 modelinin kullanabilir olduğunu göstermiştir. Böylece, Stumpf 2003 modeli kullanılarak Gökova Körfezi çalışma alanında 20 metreye kadar olan deniz alanının derinlikleri çıkartılmıştır. Derinlik ve eğim ölçüt katmanları, yalnızca uydu görüntüsünden çıkarılan derinlikler kullanılarak hazırlanmıştır. Dalga korunaklı alan, çökel paketleri ve TPI ölçüt katmanları için ise çıkarılan derinlikler, global SRTM DEM verileri ile entegre edilerek kullanılmıştır.

Gökova Körfezi ölçüt katmanları 10 x 10 metrelik gridlere normalleştirilerek aktarılmıştır. Ölçüt katmanları ve elde edilen ağırlıklar kullanılarak, Gökova Körfezi deniz çayırı habitatı uygunluk haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.37). Maksimum ve minimum değerler sırasıyla 0.95 ve 0.08 olarak elde edilmiştir. Gökova Körfezi çalışma alanının %8.03'üne karşılık gelen 67.26 hektarlık alanın deniz çayırı habitatına uygun olduğu belirlenmiştir. Gökova Körfezi çalışma alanı 20 metre ile sınırlandırıldığı ve alanda eğim değişimi az olmasından ötürü, bu çalışma alanında elde edilen değerler, Güllük Körfezi çalışma alanına göre oldukça yüksektir ve birbirine yakındır (Şekil 4.6, Tablo 4.1). Bu nedenle, Gökova'da Güllük'ten farklı bir sınıflandırma kullanılmıştır ve buna bağlı olarak farklı bir eşik değeri tanımlanmıştır.

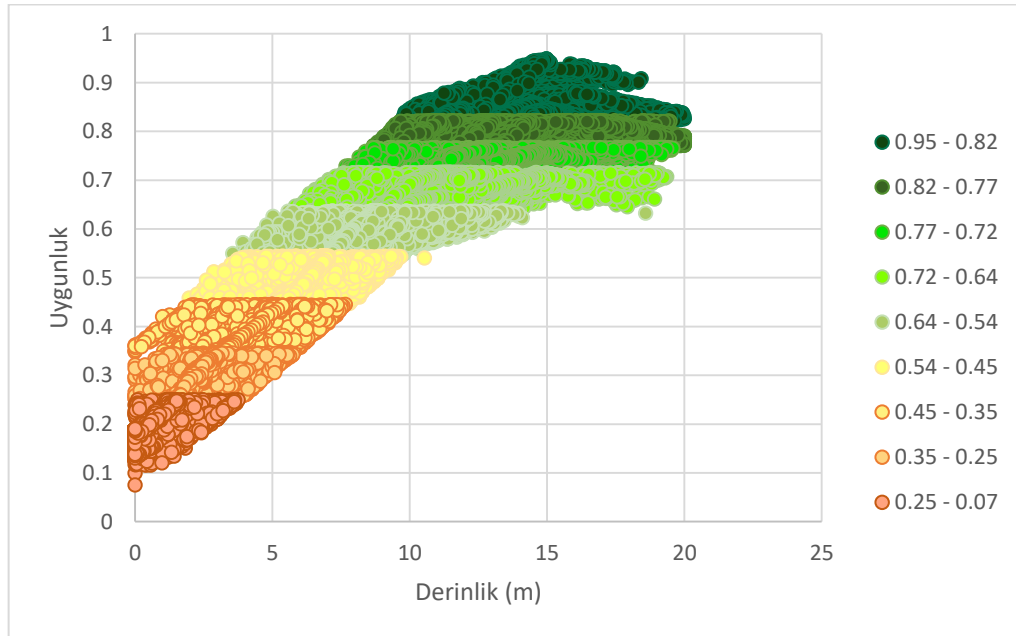


Şekil 4.6 Çalışma alanlarında modele göre elde edilen habitat uygunluğu değerleri

Tablo 4.1 İki çalışma alanının sonuç değerlerinin istatistiksel bilgileri

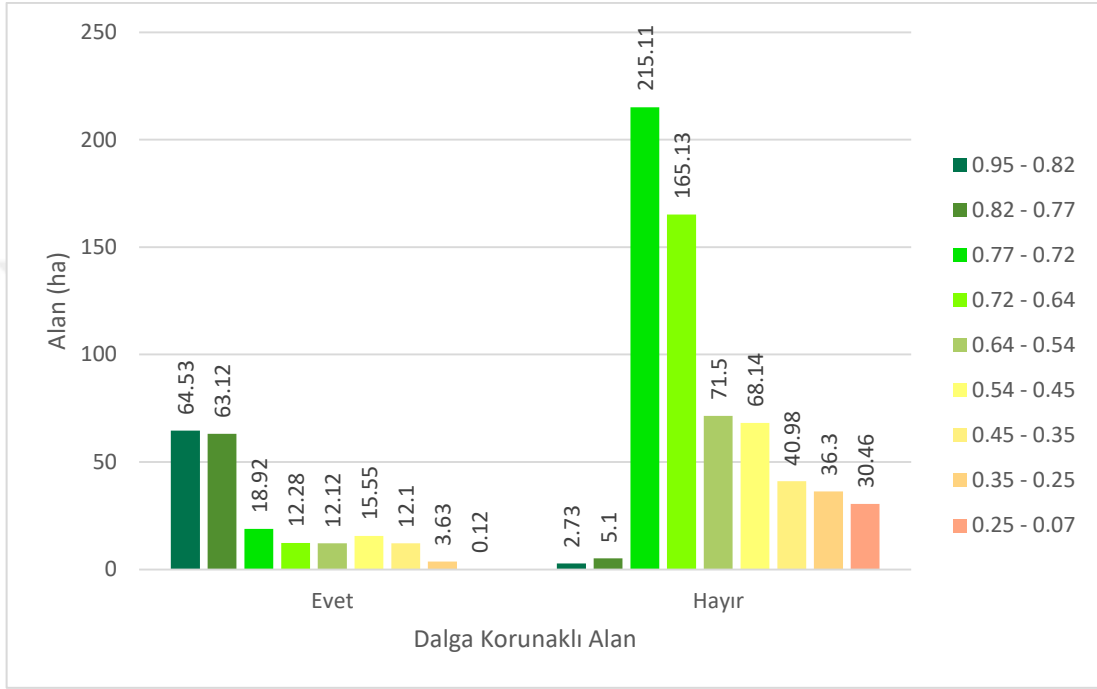
	Güllük Körfezi	Gökova Körfezi
Grid Sayısı	41073	83782
Minimum Değer	0.05	0.08
Maksimum Değer	0.98	0.95
Toplam	18720.74	53623.83
Ortalama	0.46	0.64
Standard Sapma	0.18	0.17

Gökova Körfezi deniz çayırı habitat uygunluk haritası incelendiğinde, modele göre bu çalışma bölgesinde deniz çayırlarına en düşük 9.7 metre, en yüksek 20 metre derinlikte uygun habitat (0.95 - 0.82) bulunmaktadır (Şekil 4.7). Bölgedeki su kalitesi dikkate alındığında, uygunluğun verinin alt sınırı olan 20 metreye dayanması makuldür. Buna rağmen, en düşük değer olan 9.7 metrenin sığ alanları da kapsayan düşük bir değer değildir. Bunun sebebi, bu çalışma alanında belirlenen eşik değerdir. Bir alt sınıf (0.82 - 0.77) incelendiğinde bu değer 8.7 metre, iki alt sınıf incelendiğinde ise (0.77 - 0.72) bu değer 7.7 metreye düşmektedir. Bir diğer sebep ise kıyadaki yüksek eğimlerdir. Bu çalışma alanında özellikle sığ bölgelerde eğimin 10 - 33 derece arasında olduğu gözlemlenmiştir.



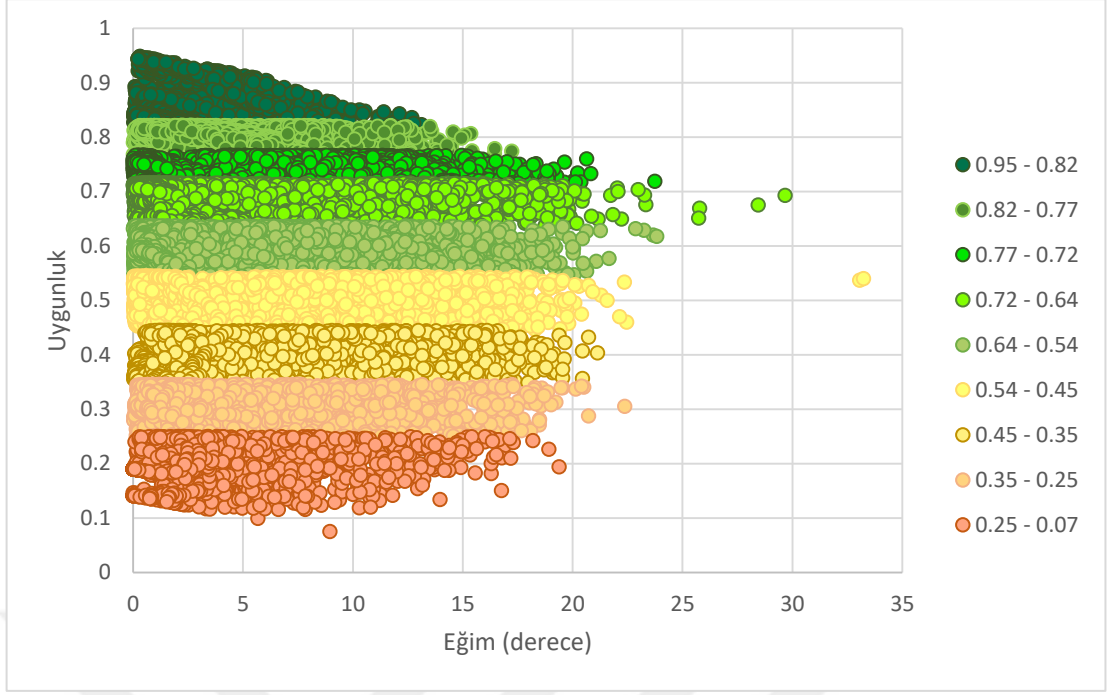
Şekil 4.7 Gökova Körfezi: derinliğe göre deniz çayırı habitat uygunluk değerleri dağılımı

Gökova Körfezi deniz çayırı habitat uygunluğu değerlerinin, dalga korunaklı alana göre dağılım grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir. Güllük Körfezi’nde olduğu gibi bu çalışma alanında da dalga korunaklı alanların varlığı, deniz çayırına uygun habitat potansiyelini önemli bir biçimde arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu çalışma alanında Güllük Körfezi’nden farklı olarak dalga korunaklı olmayan alanlarda deniz çayırına uygun habitat oldukça azdır.

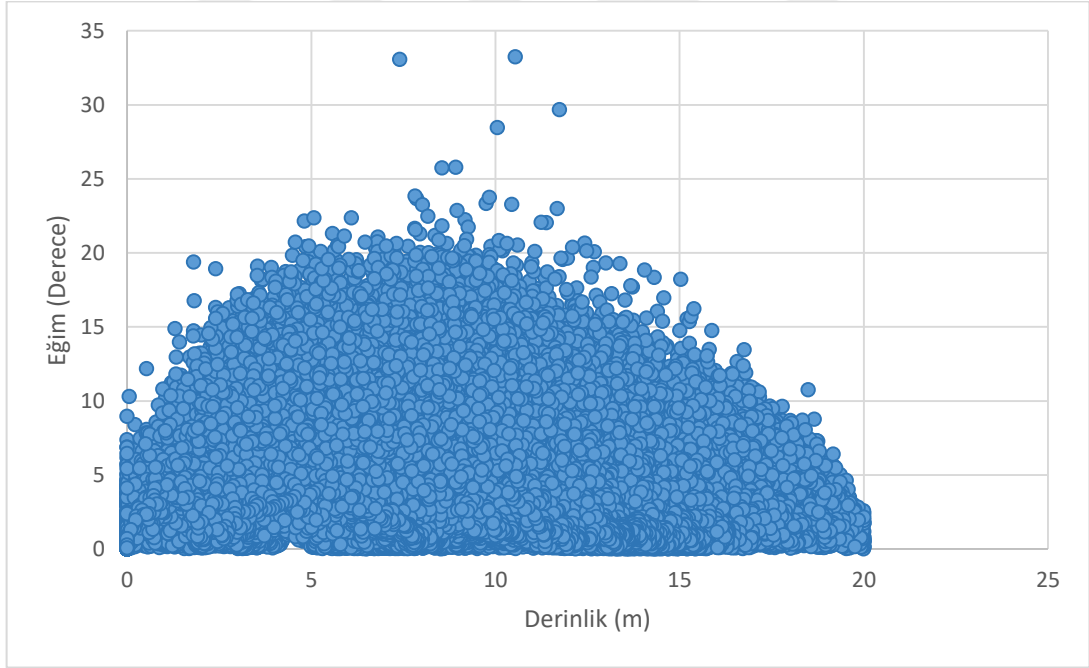


Şekil 4.8 Gökova Körfezi: dalga korunaklı alana göre deniz çayırı habitat uygunluk değerleri dağılımı

Modele göre deniz çayırlarına en uygun habitat sınıfında maksimum eğim 13.1 derecedir. Gökova Körfezi deniz çayırı habitat uygunluğu değerlerinin, eğime göre dağılım grafiği Şekil 4.9’ da görülmektedir. Güllük Körfezi’ne göre yüksek eğimli alanlar bu çalışma alanında daha fazla bulunmaktadır. Aynı zamanda 0 dereceye yakın eğime sahip alanlar da bu çalışma alanında oldukça fazladır. Buradan eğimin uygunluğa etkisi direkt olarak gözlemlenemese de, özellikle sığ alanlarda yüksek eğimin deniz çayırı habitatını olumsuz etkilemektedir. Uygun habitat minimum sınır değeri olan 9.7 metre altındaki Derinlik – Eğim ilişkisi incelendiğinde (Şekil 4.10), özellikle 5-10 metre derinlik aralığında oldukça yüksek eğim değerlerine sahip alanların çokluğu gözlemlenmiştir.



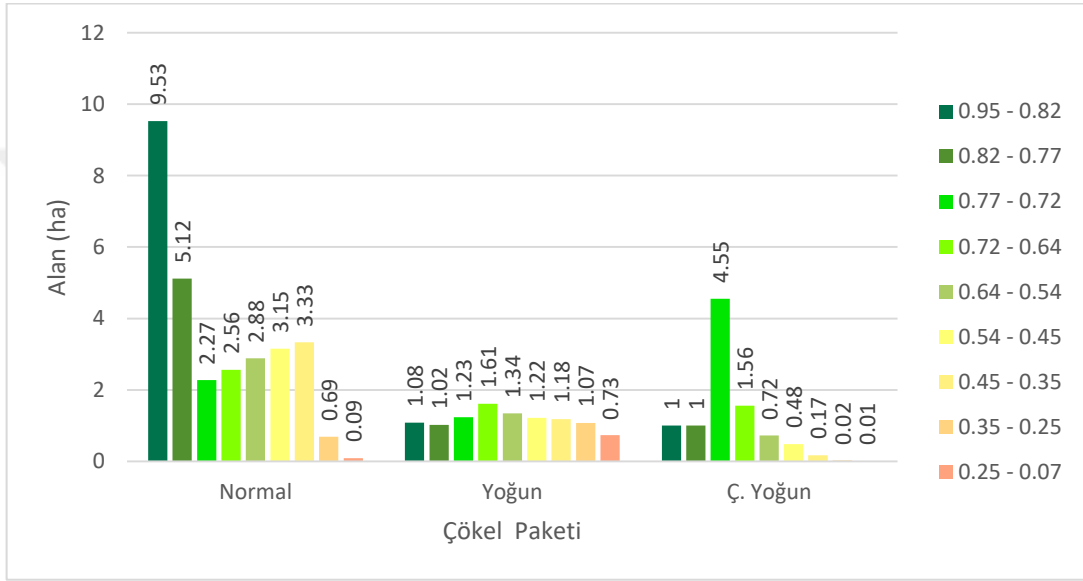
Şekil 4.9 Gökova Körfezi: eğime göre deniz çayırı habitat uygunluk değerleri dağılımı



Şekil 4.10 Gökova Körfezi: derinlik – eğim ilişkisi

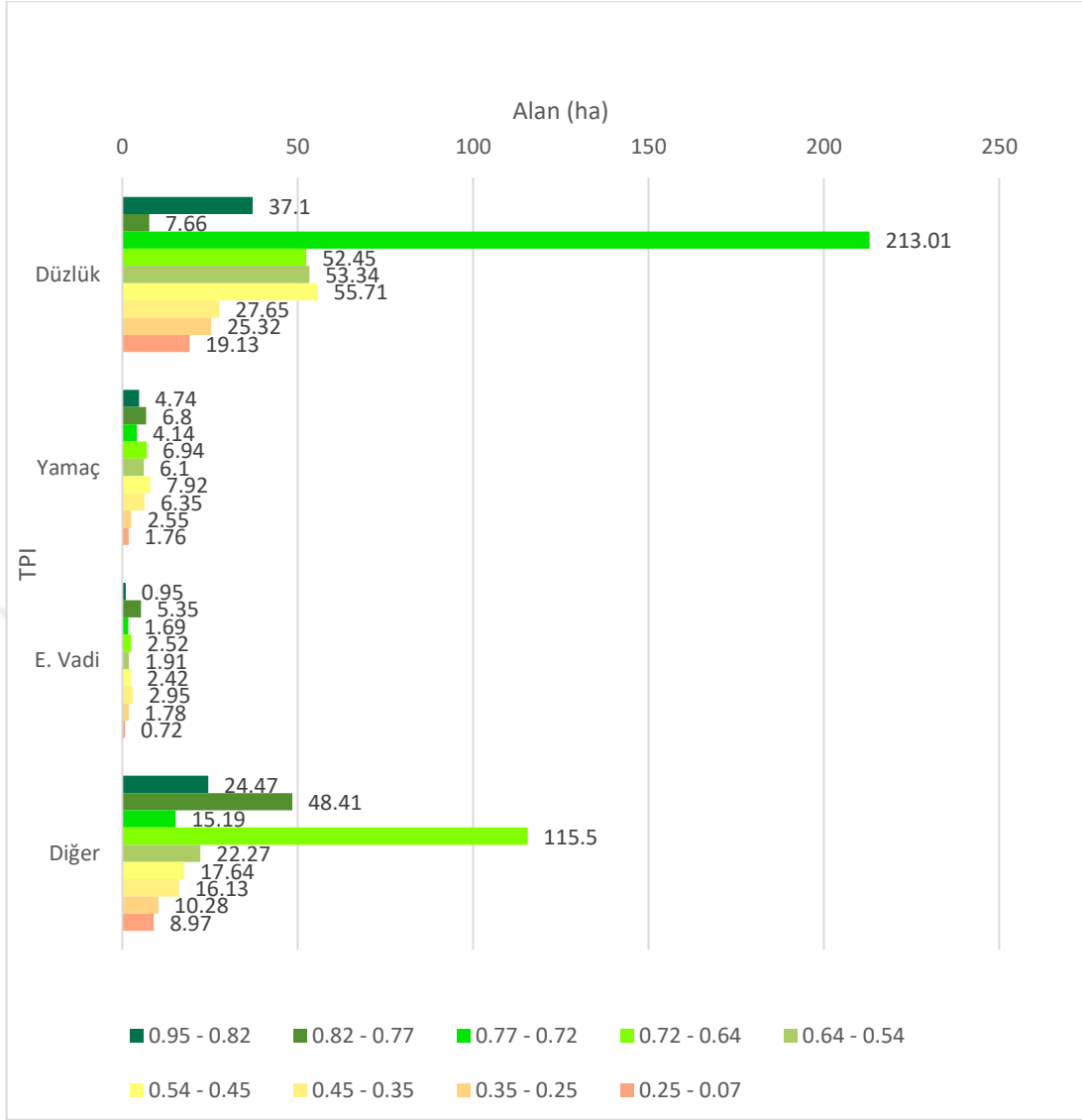
Gökova Körfezi deniz çayırı habitat uygunluğu değerlerinin, çökel paketlerine göre dağılım grafiği Şekil 4.11’de verilmiştir. ‘Paket Yok’ çökel tipindeki yüksek değerler yığılma yarattığı için bu grafiğe dahil edilmeyerek, Ek-E’de verilmiştir. Güllük

Körfezi'ndeki sonuçlara benzer olarak, normal çökel paketlerinin bulunduğu bölgelerde daha çok deniz çayırına uygun habitatlara rastlanmıştır (9.53 ha). 'Yoğun' ve 'Çok Yoğun' çökel alanlarında birbirine çok yakın uygun alanlar elde edilmiştir. En büyük deniz çayırına uygun alan 'Paket Yok' çökel sınıfında bulunmaktadır (55.65 ha). Bu çalışma alanında, çökel paketinin olmadığı açık alanlar, Güllük Körfezi'ne göre çayır habitatına daha uygun derinlik ve eğim değerlerine sahiptir. Çökel paketlerinin bulunduğu sığ bölgelerde ise; çayır habitatı yine eğim sorunu ile karşılaşmaktadır.



Şekil 4.11 Gökova Körfezi: çökel paketlerine göre deniz çayır habitat uygunluk değerleri dağılımı

Gökova Körfezi çalışma alanında, Güllük Körfezi çalışma alanının aksine 'Hafif Eğimli Sırtlar (Tepeler)' sınıfına rastlanmamıştır. Deniz çayır habitat uygunluğu değerlerinin, TPI sınıflarına göre dağılım grafiği Şekil 4.12'de görülmektedir. Çalışma alanı çoğunlukla 'Düzlük' ve 'Diğer' TPI sınıflarından oluşmaktadır. Güllük Körfezi'nde olduğu gibi TPI sınıflarının deniz çayır habitat uygunluğuna doğrudan etkisi gözlemlenmemiştir. 'Düzlük' sınıfında oldukça büyük bir uygunluk alanına (37.1 ha) rastlanılsa da, 'Diğer' sınıfında da oldukça büyük bir alan (24.47 ha) deniz çayır habitatına uygun olarak bulunmuştur. 'Yamaç' sınıfı da çayırlar için uygun habitat oluştursa da, çok düşük uygunluk değerleri rastlanmamasına rağmen, sınıflar arası alan büyüklükleri birbirine oldukça yakındır.

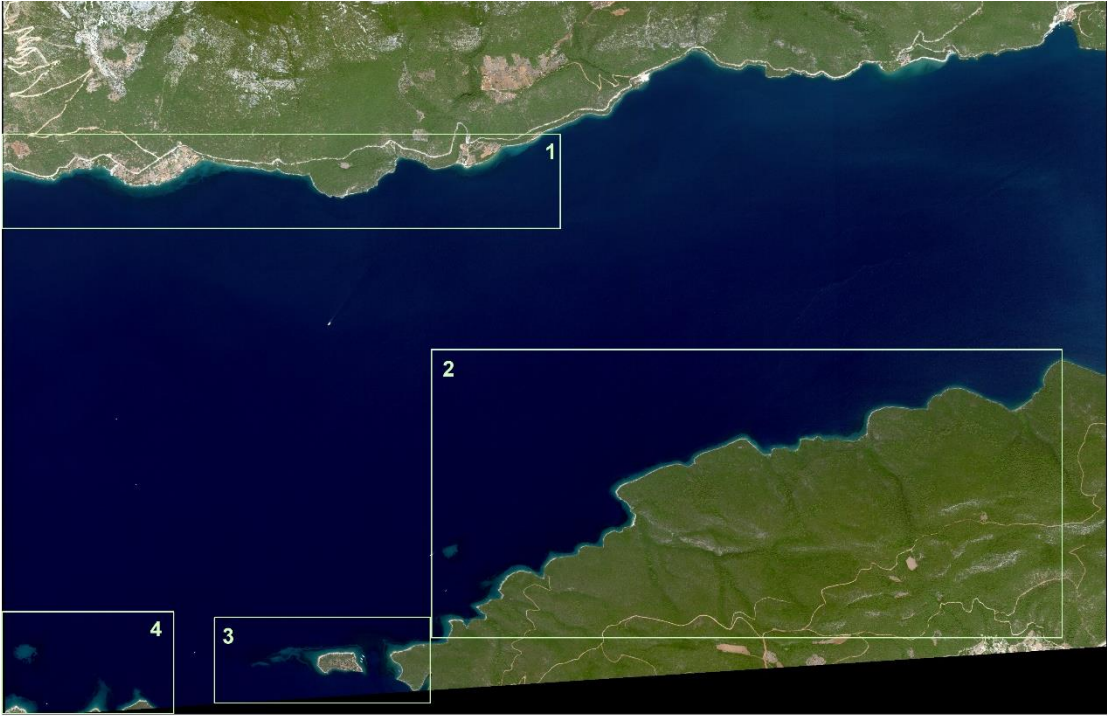


Şekil 4.12 Gökova Körfezi: TPI'e göre deniz çayırı habitat uygunluk değerleri dağılımı

Gökova Körfezi'nde mevcut deniz çayırı yayılımı, uydu görüntüsü üzerinde sınıflandırma yöntemleri uygulanarak belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, gerekli atmosferik ve su kolunu düzeltmeleri uygulandıktan sonra WorldView-2 uydu görüntüsü üzerinde DVM ve RO makine öğrenme sınıflandırma yöntemleri test edilmiştir. Doğruluk analizi sonucunda RO ve DVM yöntemleri ile sırasıyla %94 ve %72 ortalama doğruluk ile 0.89 ve 0.61 Kappa [163] değeri elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında, RO yöntemi DVM'ye göre çok daha doğru sınıflandırma sonuçları üretmiştir. Landis ve Koch'e [164] 0.81 – 1 aralığındaki Kappa istatistiği 'Neredeyse Mükemmel', 0.61 – 0.81 aralığındaki Kappa istatistiği ise 'Çok Tatmin Edici' uzlaşma

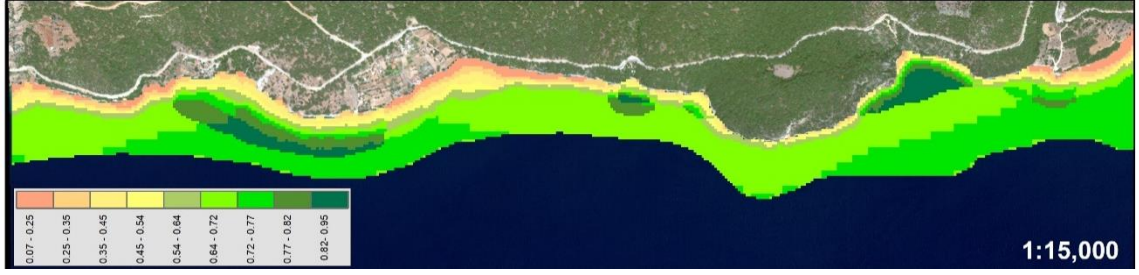
düzenini ifade eder. Buradan yola çıkılarak, yapılan sınıflandırmaların hassas olduğu fakat sadece RO yönteminin yeterli doğrulukta sonuçlar üretmiştir. Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde RO ve DVM yöntemi sırasıyla 24.63 ha ve 10.75 ha'lık deniz çayırı alanını sınıflandırmışlardır. Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da da görüleceği gibi DVM deniz çayırlarını yeteri kadar sınıflandıramamıştır. RO yöntemi deniz çayırlarını büyük parçalar halinde sınıflandırmayı başarmıştır. DVM'de ise birkaç pikselden oluşan çok ufak parçalar fazlaca bulunmaktadır.

Model ve sınıflandırma sonuçları deniz çayırlarının varlık gösterdiği Kuzey Kıyı Şeridi (1), Güney Kıyı Şeridi (2), Ada Bölgesi (3) ve Burun Bölgesi (4) olmak üzere 4 ayrı alanda incelenmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Gökova Körfezi alt bölgeler

Kuzey kıyı şeridinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.14'te verilmiştir. Bu bölgede DVM'nin oldukça az deniz çayırı sınıflandırdığı görülmektedir. Bu bölgede DVM deniz çayırları bölgesel çıkarmayı başaramamıştır. RO sonuçları ise daha başarılı bir performans göstererek deniz çayırlarının kümeler halinde elde edilmesini sağlamıştır. Sınıflandırma sonuçlarının model üzerindeki değer dağılımları incelendiğinde (Şekil 4.15), iki yöntemde de çayırlar yoğun olarak 0.77-0.64 aralığında bulunmaktadır.



(a)

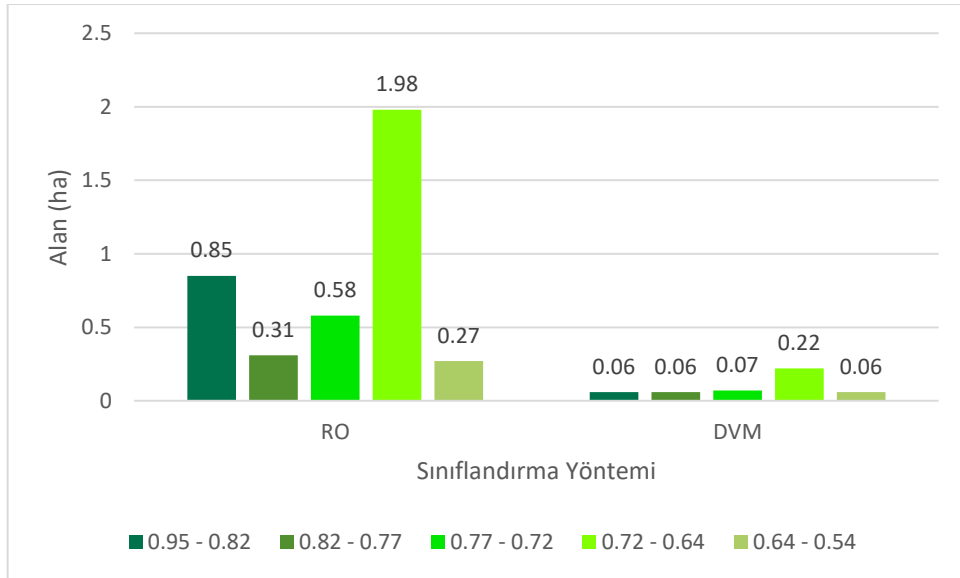


(b)



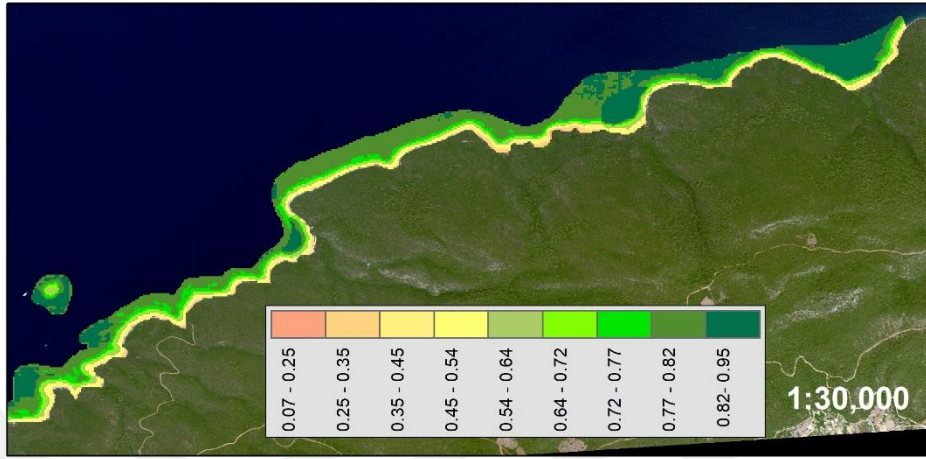
(c)

Şekil 4.14 Gökova Körfezi kuzey kıyı şeridi (a) model, (b) RO ve (c) DVM sonuçları

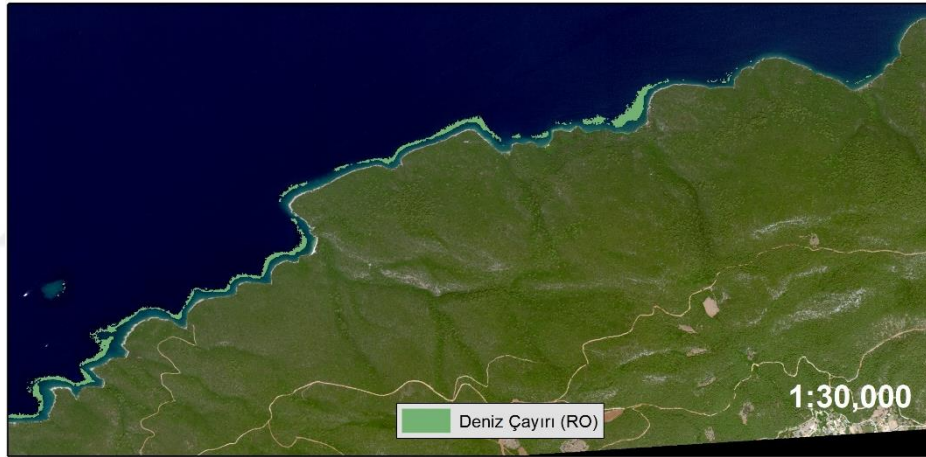


Şekil 4.15 Gökova Körfezi kuzey kıyı şeridi sınıflandırma – model ilişkisi grafiği

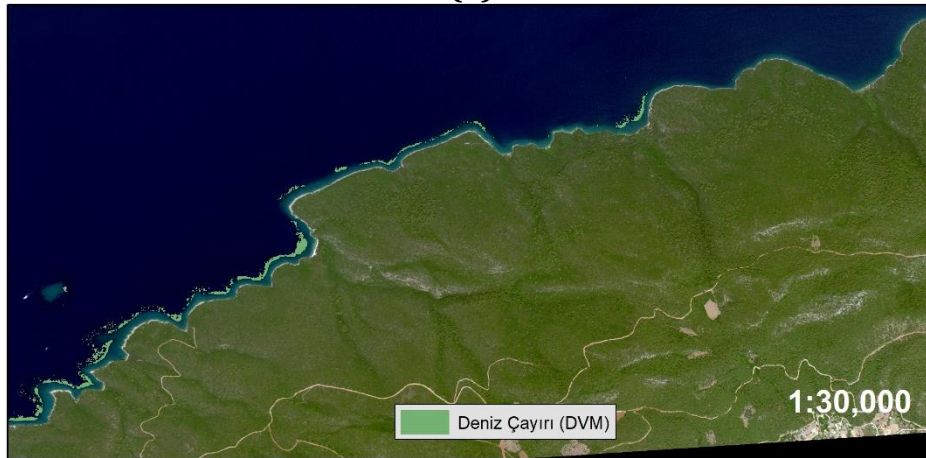
Güney kıyı şeridinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.16'da verilmiştir. Bu bölgede iki yöntem ile de kıyı boyunca uzanan deniz çayırı kümeleri tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu bölgede sınıflandırma sonuçlarının model ile daha uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.17).



(a)

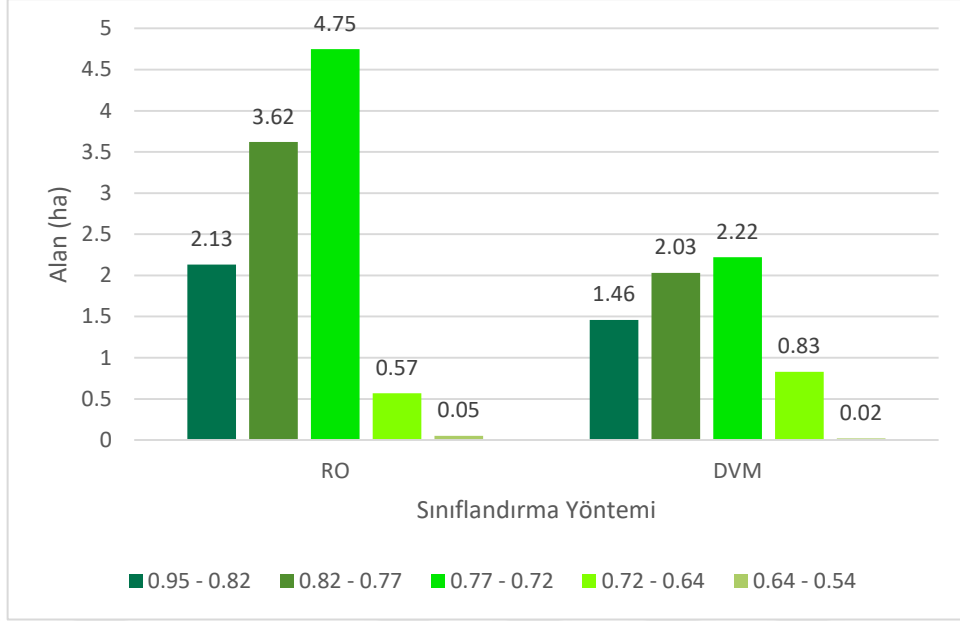


(b)



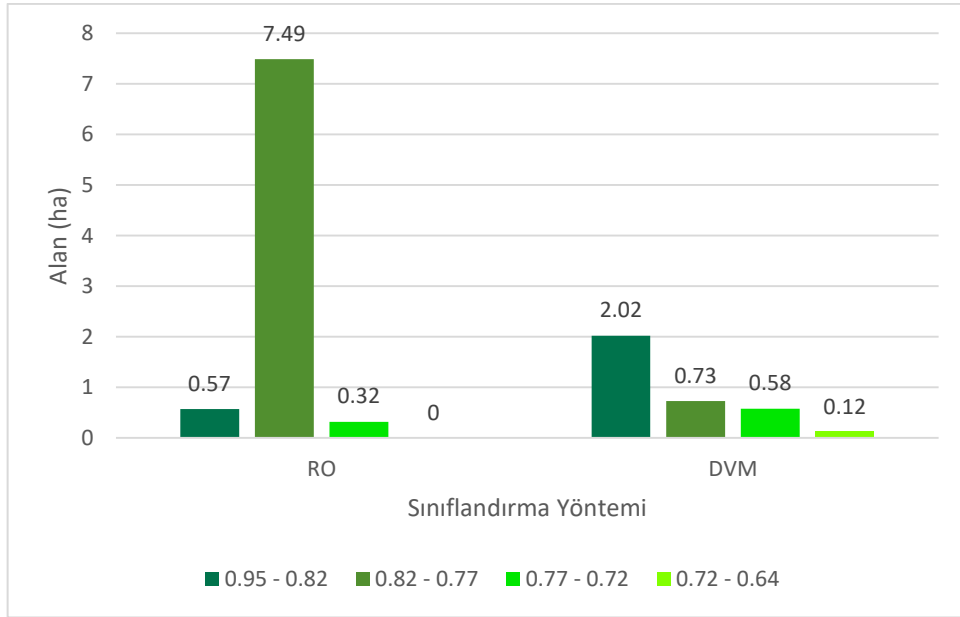
(c)

Şekil 4.16 Gökova Körfezi güney kıyı şeridi (a) model (b) RO ve (c) DVM sonuçları

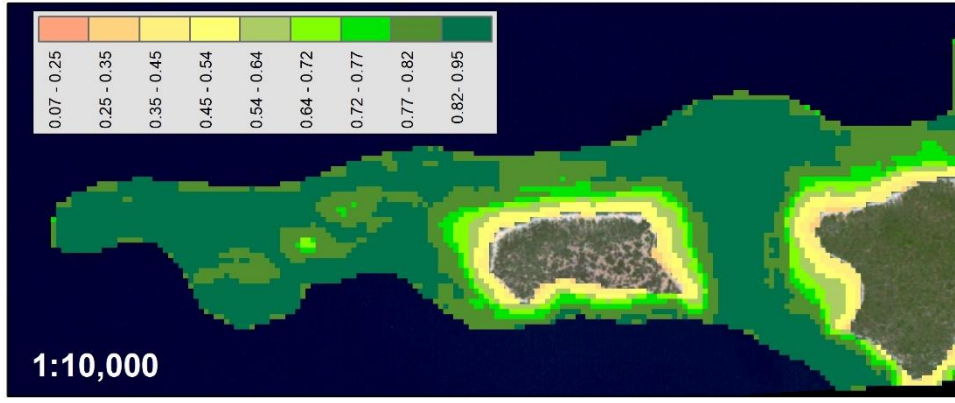


Şekil 4.17 Gökova Körfezi güney kıyı şeridi sınıflandırma – model ilişkisi grafiği

Deniz çayırları yayılımının yoğun olduğu Ada bölgesinde, sınıflandırma ve model sonuçları oldukça uyumludur (Şekil 4.18). Bu bölgede DVM, RO yöntemine göre model ile en üst düzeyde uyumlu daha fazla alan sınıflandırmasına rağmen, diğer bölgelerde olduğu gibi birkaç pikselden oluşan seyrek parçalar halinde sınıflandırmayı gerçekleştirmiştir (Şekil 4.19). RO yönteminde ise modelin 0.82-0.77 aralığında bulunan çok yoğun bir deniz çayırı alanı söz konusudur.



Şekil 4.18 Gökova Körfezi ada bölgesi sınıflandırma – model ilişkisi grafiği



(a)



(b)

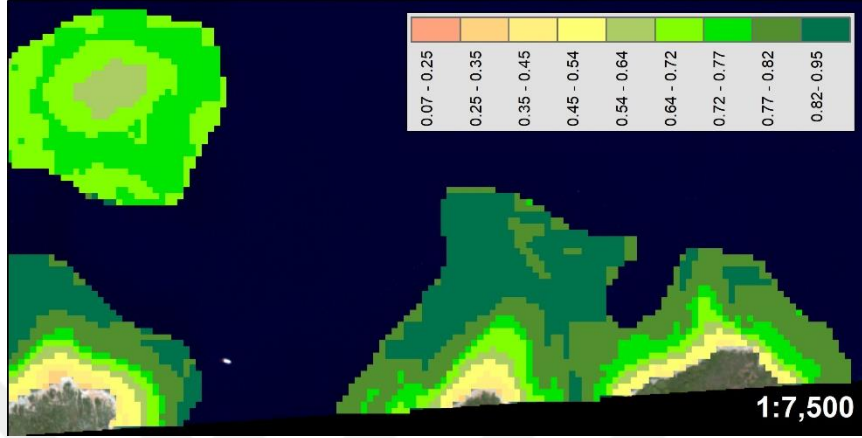


(c)

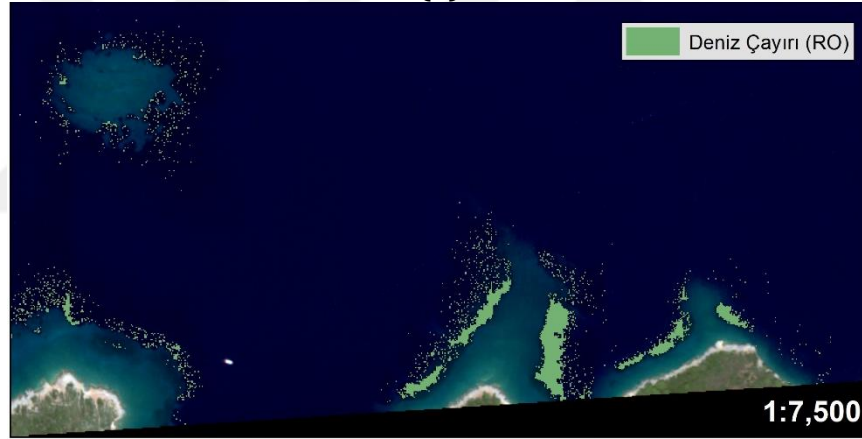
Şekil 4.19 Gökova Körfezi ada bölgesi (a) model (b) RO ve (c) DVM sonuçları

Burun bölgesinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.20'de verilmiştir. İki yöntemle de açıkta bulunan sığık bölgede deniz çayırıları seyrek parçalar halinde elde edilmiştir. Bu bölgede genel olarak yoğun bir deniz çayırı yayılımına rastlanmamasına rağmen, RO, DVM'ye göre daha yoğun bir deniz çayırı alanı tespit etmiştir. Aynı zamanda, iki yöntem ile elde edilen deniz çayırıları çoğunlukla modelin üst iki sınıfında bulunmaktadır (Şekil 4.21).

Tüm bölge dikkate alındığında RO, DVM'ye göre daha yoğun ve daha doğru sonuçlar üretmiştir. Deniz çayırı yayılımının yoğun olduğu bölgelerde dahi DVM sürekli sonuçlar üretmekte başarısız olmuştur. Güney kıyı şeridinde yoğun bir yayılım çıkarmasına rağmen, DVM yönteminin bu çalışma bölgesinde etkili ve kullanılabilir sonuçlar üretmediği gözlemlenmiştir.



(a)

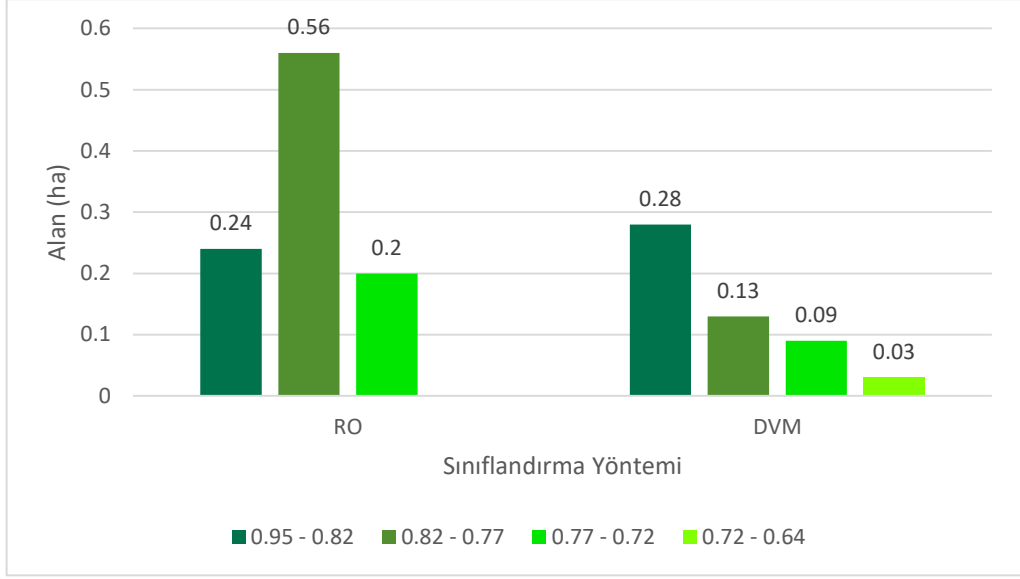


(b)



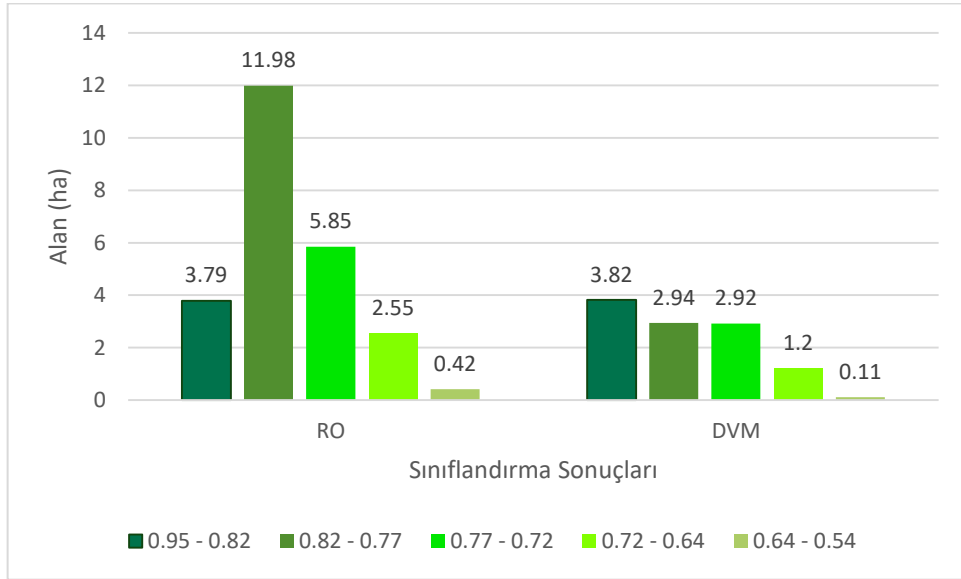
(c)

Şekil 4.20 Gökova Körfezi burun bölgesi (a) model (b) RO ve (c) DVM sonuçları



Şekil 4.21 Gökova Körfezi burun bölgesi sınıflandırma – model ilişkisi grafiği

Tüm bölgedeki sınıflandırma sonuçlarının model üzerindeki dağılımı incelendiğinde (Şekil 4.22), en düşük uygunluk değerinin 0.54 civarında olduğu hesaplanmıştır. RO sınıflandırma sonuçlarının %15'i ilk sınıfta, %64'ü ilk iki sınıfta ve %88'i ilk üç sınıfta bulunmaktadır. DVM sınıflandırma sonuçlarının %34'ü ilk sınıfta, %62'si ilk iki sınıfta ve %88'i ilk üç sınıfta bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında optik uydu görüntüsünden sınıflandırma sonucu ile elde sonuçlarının, optik uydu görüntüsü ile elde edilen derinlik verileri ile uygulanan model sonuçları ile kısmen uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 4.22 Gökova Körfezi sınıflandırma – model ilişkisi grafiği

Deniz çayırları, dünya suları ve Akdeniz için sualtı ekosistemini koruyan, balık ve omurgasız türlerine yiyecek ve habitat sağlayan, kıyı erozyonu önleyen, denizde ve atmosferde karbondioksit emilimini düzenleyen önemli bir bitkidir. Bazı türlerinin uluslararası anlaşmalar ile koruma altında olduğu bu bitkinin, özellikle Akdeniz'deki yaşam alanları hakkındaki bilgi oldukça kısıtlıdır. Etkili kıyı yönetimi ve deniz koruma alanlarının belirlenebilmesi için, mevcut deniz çayırı yayılımının ve potansiyel deniz çayırına uygun habitatların tespit edilmesi gereklidir.

Literatürde mevcut durumun ve potansiyel habitatların belirlenmesi için optik ve akustik uzaktan algılama ve CBS teknikleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada; Akdeniz kıyısındaki iki körfezde bu teknikler bir arada kullanılarak, bir habitat modeli geliştirmiş ve uydu görüntüsü sınıflandırma sonuçları ile ilişkisi irdelenmiştir.

Deniz çayırlarına uygun habitat alanlarının belirlenmesi için geliştirilen modelde Derinlik, Dalga Korunaklı Alan, Eğim Çökel Paketleri ve TPI olmak üzere 5 adet ölçüt kullanılmıştır. Ölçüt katmanları ÇBİ akustik verileri, multispektral uydu görüntüleri, karaya ait yükseklik eğrileri ve yıllık dalga raporları kullanılarak oluşturulmuştur.

Modelin geliştirilme aşamasında derinlik katmanı için yoğun olarak ÇBİ akustik verileri kullanılmıştır. Veri toplama sırasında oluşan veri boşlukları, SPOT 7 uydu görüntüsü ile dip albedosundan bağımsız olarak farklı bantların sudaki emilim oranına dayalı Stumpf modeli kullanılarak doldurulmuştur. Stumpf yöntemi ile yapılan analizlerde derinlikler karşılıklı olarak elde edilebilmektedir. Bu yöntemde elde edilen verinin yatay çözünürlüğü kullanılan uydu görüntüsünün geometrik çözünürlüğüne bağlıdır. Bu yöntemde iki temel kısıtlayıcı unsur bulunmaktadır. Bunların birincisi elde edilen karşılıklı derinliklerin mutlak derinliğe dönüştürülmesi için yer gerçeklik verisine ihtiyaç vardır. Bu nedenle Güllük Körfezi'nde sığ sulara ait ÇBİ iskandil verileri yer gerçeklik verisi olarak

kullanılmıştır. İkinci kısıtlayıcı unsur ise bu yöntemin ışığın sudaki geçirgenliği tarafından sınırlanmasıdır. Bu nedenle, bu yöntem en ideal su koşullarında dahi maksimum 20-25 derinliğe kadar sonuç üretebilmektedir. Eğer suda kirlilik veya yoğun asılı madde mevcutsa, elde edilen derinlik değerleri ciddi şekilde etkilenmektedir. Stumpf yöntemi bu çalışmada uygulandığında düşeyde 1.74 metre karesel ortalama hata ile derinlikler elde edilmiştir. Sonuçlara göre sığ alanlar için yapılacak metre düzeyindeki çalışmalarda bu yöntem etkili bir şekilde kullanılabilir. Fakat daha hassas veya daha derin alanlarda yapılan çalışmalar için akustik ölçümler gerekir.

Dalga korunaklı alanlar, bölgede gerçekleştirilen yıllık dalga ve rüzgar raporları ışığında dalga hakim yönü temel alınarak belirlenmiştir. Eğim katmanı, derinlik katmanı kullanılarak derece olarak hesaplanmıştır. Çökel paketleri katmanı için yükseklik eğrileri kullanılarak hidrolojik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen akarsulardan faydalanılarak, uzman yorumu ile kıyadaki çökel paketleri çizilmiştir. Akarsuların kıyıya taşıdığı besin miktarlarını karşılıklı olarak belirlemek amacıyla hipsometrik integral analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda akarsu evrelerinin birbirlerine yakın olduğu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle çökel paketleri, kıyıya dökülen akarsuya Strahler sırasına göre sınıflandırılmıştır. Arazi şekli için belirlenen son ölçüt katmanı için Iwahashi ve Pike, Geomorphon ve TPI yöntemleri denenmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde TPI tabanlı arazi şekli çıkarım yönteminin en uygun olduğuna karar kılınmıştır.

Katmanların oluşturulmasıyla ölçütler, uzmanlar ile gerçekleştirilen anketler doğrultusunda AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. 0.0691 tutarlılık oranı ile gerçekleştirilen AHP sürecinde, en yüksek ağırlık 0.573 ile derinlik ölçütüne aittir. Dalga korunaklı alan, eğim, çökel paketleri ve TPI ölçütlerinin ağırlıkları ise sırasıyla 0.133, 0.123, 0.122 ve 0.049 şeklindedir. Ağırlık değerlerinden de anlaşılacağı üzere, uygun habitatın belirlenmesinde derinlik en önemli parametredir. Bu ölçütler dışında sıcaklık, tuzluluk gibi su parametreleri de deniz çayırı habitatını etkileyen ölçütlerdir. Yapılan CTD ölçümlerinde tuzluluk oranı 37-39 ppt aralığındadır. Bu değer, deniz çayırları için ideal 35 ppt civarında olan tuzluluk oranına çok yakın olduğu için çalışma bölgesinde tuzluluk sebebiyle

bir baskı oluşmamaktadır. Deniz çayırları için ideal sıcaklık yaklaşık 18°C olarak bilinmektedir. Bölgede yapılan parametre ölçümlerinde sıcaklıklar 16-21°C olduğu göz önünde bulundurulduğunda, dönemsel olarak sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmemiş olsa da, çalışma alanında sıcaklı sebebiyle bir baskı oluşmadığı söylenebilir.

Ölçüt katmanları ve ağırlıkları kullanılarak, 10 x 10 metrelik gridler halinde Güllük deniz çayırı habitat uygunluk modeli oluşturulmuştur. Model değerleri Çok Uygun, Uygun, Kısmen Uygun, Düşük Derecede Uygun, Çok Düşük Derecede Uygun ve Uygun Değil olmak üzere 6 sınıfa ayrılmıştır. Habitat uygunluk değerlerinin, AHP ağırlıklarına bağlı olarak derinliğe oldukça bağımlı olduğu gözlemlenmiştir. Dalga korunaklı alanların varlığı, deniz çayırına uygun habitat potansiyelini önemli bir biçimde arttırdığı görülmüştür. En düşük uygunluk değerleri 15 derece ve üstü eğime sahip alanlarda elde edilmiştir. En yüksek uygunluk değerlerine ise 1.4 – 6 derece aralığında eğime sahip alanlarda rastlanmıştır. Deniz çayırları az miktarda besine ihtiyaç duyduğundan, normal çökel paketlerinin bulunduğu bölgelerde daha çok deniz çayırına uygun habitatlara rastlanmıştır. TPI ölçütünün ise ağırlığına bağlı olarak belirleyici bir etkisi olmadığı görülmüştür. Geliştirilen model, Güllük Körfezi'nde %75.6 doğruluk ile potansiyel habitat alanlarını belirlemiştir.

ÇBİ iskandil derinliğe bağlı olarak santimetre düzeyinde derinlik ve gerisaçılım bilgisi toplama yeteneğine sahiptir. Fakat ÇBİ verilerinin toplanması ve işlenmesi, yüksek maliyet, iş gücü, tecrübe ve zaman gerektirmektedir. Bu nedenle geliştirilen model, daha az maliyetli, arazi çalışması gerektirmeyen ve zaman tasarrufu sağlayan sadece yüksek çözünürlüklü WorldView-2 uydu görüntüsü ve SRTM verileri kullanılarak Gökova Körfezi'nde uygulanmıştır. Model için gerekli olan ölçüt katmanlarının üretilmesi için uydu görüntüsünden Stumpf yöntemi derinlik çıkarımı gerçekleştirilmiştir. Işığın sudaki geçirgenliği derinliğe bağlı olarak katlanarak azaldığından, Gökova Körfezi'nde çalışma, maksimum 20 metre derinlik ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışma alanında Stump yönteminden elde edilen karşılıklı derinliklerin mutlak derinliklere dönüştürülmesi için, Türk Deniz Kuvvetleri Seyir Hidrografi ve Oşinografi Daire Başkanlığı tarafından üretilen seyir haritaları yer gerçeklik verisi olarak kullanılmıştır. Dalga korunaklı alan katmanı için bölgede

dalga şiddeti ve yönleri üzerine gerçekleştirilmiş bir çalışma bulunmadığından, Marmaris ve Bodrum meteoroloji istasyonlarının yıllık rüzgar verileri baz alınmıştır. Ölçüt ağırlıkları ve katmanlar ilişkilendirilerek, 10 x 10 metrelik gridler halinde Gökova Körfezi deniz çayırı habitat uygunluk haritası oluşturulmuştur. Bu çalışma alanı maksimum 20 metre ile sınırlandırıldığı ve düşük eğim değerlerine sahip olduğu için, model değerleri Güllük Körfezine göre daha yüksek ve birbirine yakın olarak elde edilmiştir. Bu nedenle, sonuçların daha iyi ayırt edilebilmesine yardımcı olması için değerler Güllük Körfezi'nden farklı olarak 9 sınıfa ayrılmıştır.

Gökova Körfezi'nde sığ bölgelerde özellikle 5-10 metre derinlik aralığında eğim yüksek olduğundan en yüksek habitat uygun değerlerine 15 metre derinlik civarında rastlanmıştır. Bu çalışma alanında Güllük Körfezi'nden farklı olarak dalga korunaklı olmayan alanlarda yüksek uygun habitat değerlerine az rastlanmıştır. Bu çalışma alanında, çökel paketinin olmadığı açık alanlar, Güllük Körfezi'ne göre deniz çayırı habitatına daha uygun derinlik ve eğim değerlerine sahiptir. Çökel paketlerinin bulunduğu sığ bölgelerde ise; çayır habitatını yine eğim sorunu ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle bu çalışma alanında çökel paketlerinin olmadığı bölgelerde de deniz çayırlarına uygun alanlara yoğun bir şekilde rastlanmıştır. Güllük Körfezi'nde olduğu gibi TPI sınıflarının deniz çayırı habitat uygunluğuna doğrudan etkisi gözlemlenememiştir.

Bu tez çalışmasında, deniz çayırlarının anlık yayılım haritalarının elde edilebilmesi ve model ilişkisinin kurulması için uydu görüntülerinin kullanımı araştırılmıştır. Gökova Körfezi'ndeki mevcut yayılımın tespit edilmesi amacıyla yüksek çözünürlüklü WorldView-2 uydu görüntüsü üzerinde makine öğrenmesi sınıflandırma teknikleri kullanılmıştır. Kara çalışmalarında radyometrik ve atmosferik düzeltme genelde zaman değişimi analizlerinde uygulanmasına rağmen, deniz tabanı çalışmalarında bu işlem kaçınılmazdır. Bu nedenle öncelikle uydu görüntüsüne radyometrik, atmosferik ve su kolonu düzeltmeleri uygulanmıştır. Su kolonu etkisinin giderilmesi için literatürde birçok yöntem mevcuttur. Bu çalışmada sıklıkla kullanılan Lyzenga, 1981 yönteminden faydalanılarak derinlikten bağımsız indeksler oluşturulmuştur. RO ve DVM yöntemleri ile gerçekleştirilen sınıflandırmalarda, RO yöntemi %89 doğruluk ile DVM yöntemine göre daha yüksek

doğrulukla sınıflandırma sonuçları üretmiştir. Aynı zamanda RO yöntemi deniz çayırlarını yoğun ve sürekli parçalar halinde çıkarmıştır. DVM yöntemi ile bu çalışma bölgesinde elde edilen sınıflandırma sonuçları doğruluk ve yayılım açısından tatmin edici bulunmamıştır.

Sınıflandırma ve model sonuçlarının ilişkisi irdelendiğinde, iki yöntemin birbirleriyle uyumlu olduğu bulunmuştur. Sınıflandırma sonuçlarının %88'i model üzerinde 0.72 uygunluk değerinin üzerindedir. Sınıflandırma sonuçlarının model üzerindeki minimum uygunluk değeri ise 0.54 olarak elde edilmiştir. Güllük Körfezi'nde üretilen model, sadece uydu görüntüsünden elde edilen derinlikler kullanılarak Gökova Körfezi'ne uygulandığında, iki çalışma alanında farklı su dinamikleri ve parametreleri olsa da, model Gökova Körfezi'nde de başarılı sonuçlar üretmiştir. Her ne kadar sınıflandırma yüksek doğruluk ile sonuçlar üretse de, bu sonuçlar tek bir zaman için geçerlidir. Geliştirilen model ise anlık deniz çayırı yayılımından bağımsız olarak, deniz çayırlarına uygun habitat sınırlarını belirlemektedir.

Çalışmada geliştirilen model, akustik ve optik verilerle başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Model, sadece yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünden elde edilen derinliklerle de başarılı şekilde uygulanabildiğinden dolayı, sonuç üretiminde zaman ve maliyet tasarrufu yapmaktadır. 10 metrelik gridler düzeyinde çalışıldığı göz önünde bulundurulduğunda, bu gibi çalışmalar için zaman ve maliyet açısından uydu görüntüleri derinlik veri kaynağı olarak daha uygundur. Model aynı zamanda kamuya açık ve ücretsiz uydu görüntüleri kullanılarak uygulanması test edilebilir. Fakat daha derin alanları kapsayan, daha hassas sonuçlar gerektiren ya da su kirliliğinin olduğu çalışmalarda, akustik verilerin toplanması kaçınılmazdır.

Çalışmada önerilen model ile deniz çayırlarına ait uygun bentik habitat haritalarının hızlı ve yüksek çözünürlüklü üretilmesi mümkündür. Deniz çayırlarının Akdeniz'deki yayılım bilgisi hakkında bilgi oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle, geliştirilen modelin ürettiği sonuçlar CBS ile entegre edilmiş olup, disiplinler arası çalışmalar için altlık oluşturacak niteliktedir. Bununla birlikte, bir bölgede deniz çayırları antropojenik etkilerden dolayı yok olmuş ise, geliştirilen model ile çayır restorasyon

çalışmalarına yön gösterici sonuçlar üreterek deniz çayırlarının geri kazanımına katkı sağlar.

Çalışma aynı zamanda su şartları uygun olduğunda deniz çayırlarının anlık yayılımının uydu görüntülerinden makine öğrenmesi ile başarılı bir şekilde gözlemlenebileceğini ortaya koymaktadır. Böylece, deniz çayırlarının zamansal değişimleri kolaylıkla gözlemlenerek, kıyı yönetimi stratejileri ve politikaları geliştirilebilir. Son yıllarda ciddi anlamda popülerlik kazanan derin öğrenme mimarileri de bu amaçla kullanılabilir. Deniz çayırlarının algılanması için bir veriseti ve uygun derin öğrenme mimarisinin oluşturulmasıyla, yer gerçeklik verisine ihtiyaç duymaksızın sürekli analizler gerçekleştirilerek, deniz çayırlarının zamansal değişim analizleri etkili bir biçimde yürütülebilir.

Çalışmada geliştirilen model ve uygulanan yöntemin, ülkemiz kıyılarındaki deniz çayırı haritalama çalışmalarına örnek olması hedeflenmektedir. Çalışmanın ülkemizde kıyı yönetimi stratejilerinin oluşturulması ve deniz koruma alanlarının tesis edilmesi için yön verici sonuçlar sunarak, deniz ekosisteminin sürdürülebilirliğine katkıda bulunması beklenmektedir.

Derinlikten Bağımsız İndeksler MATLAB Kodları

%Uydu görüntüsünün matrise aktarılması.

```
[OrgImg, OrgR] = geotiffread('WV2_Reflectance.tif');
```

%Görüntünün bantlara ayrılması.

```
OrgImg_Band1 = OrgImg(:,:,1);
```

```
OrgImg_Band2 = OrgImg(:,:,2);
```

```
OrgImg_Band3 = OrgImg(:,:,3);
```

%Uydu görüntüsünden kesilmiş, derinliği değişken kum yüzeyli referans alanının matrise aktarılması.

```
[SandImg, SandR] = geotiffread('Sand_int16.tif');
```

%Kum görüntüsünün bantlara ayrılması ve her bandın sadece ilk sütununun alınması.

```
SandImg_Band1 = SandImg(:,1,1);
```

```
SandImg_Band2 = SandImg(:,1,2);
```

```
SandImg_Band3 = SandImg(:,1,3);
```

%İkili kovaryansların hesaplanması.

```
Cov_1_2 = mean(SandImg_Band1 .* SandImg_Band2) - (mean(SandImg_Band1) .* mean(SandImg_Band2));
```

```
Cov_1_3 = mean(SandImg_Band1 .* SandImg_Band3) - (mean(SandImg_Band1) .* mean(SandImg_Band3));
```

```
Cov_2_3 = mean(SandImg_Band2 .* SandImg_Band3) - (mean(SandImg_Band2) .* mean(SandImg_Band3));
```

%Bantlara ait varyansların hesaplanması.

```
Var_Band1= var(double(SandImg_Band1));
```

```
Var_Band2= var(double(SandImg_Band2));
```

```
Var_Band3= var(double(SandImg_Band3));
```

%Her bant ikilisi için a değişkeninin hesaplanması.

```
A_1_2 = (Var_Band1 - Var_Band2) / (2 * Cov_1_2);  
a_1_3 = (Var_Band1 - Var_Band3) / (2 * Cov_1_3);  
a_2_3 = (Var_Band2 - Var_Band3) / (2 * Cov_2_3);
```

%Her bant ikilisi için sudaki emilim oranının (Ki/Kj) hesaplanması.

```
K_1_2 = a_1_2 + sqrt( (a_1_2 * a_1_2) + 1);  
K_1_3 = a_1_3 + sqrt( (a_1_3 * a_1_3) + 1);  
K_2_3 = a_2_3 + sqrt( (a_2_3 * a_2_3) + 1);
```

%Her bant ikilisi için derinlikten bağımsız indekslerin hesaplanması.

```
DII_1_2 = double(OrgImg_Band1) - (K_1_2 * double(OrgImg_Band2));  
DII_1_3 = double(OrgImg_Band1) - (K_1_3 * double(OrgImg_Band3));  
DII_2_3 = double(OrgImg_Band2) - (K_2_3 * double(OrgImg_Band3));
```

%Derinlikten bağımsız indekslerin birleştirilmesi ve tiff uzantılı dosyaya yazdırılması.

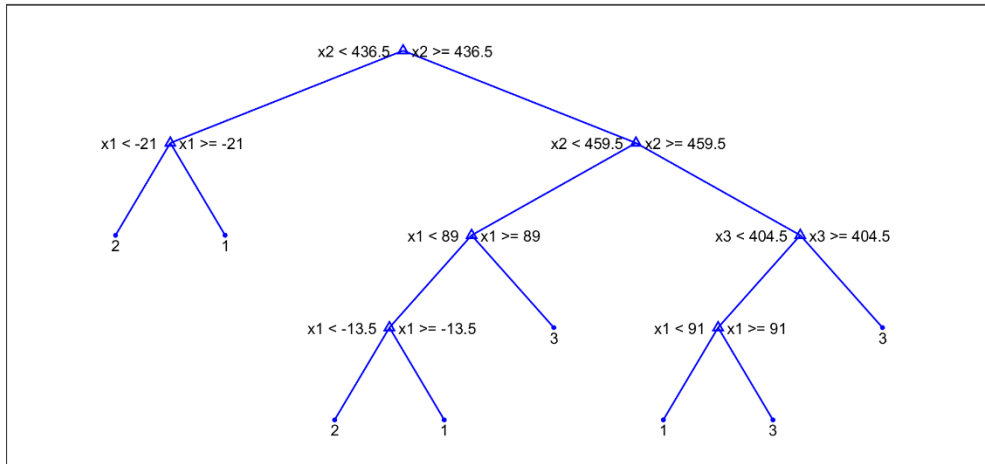
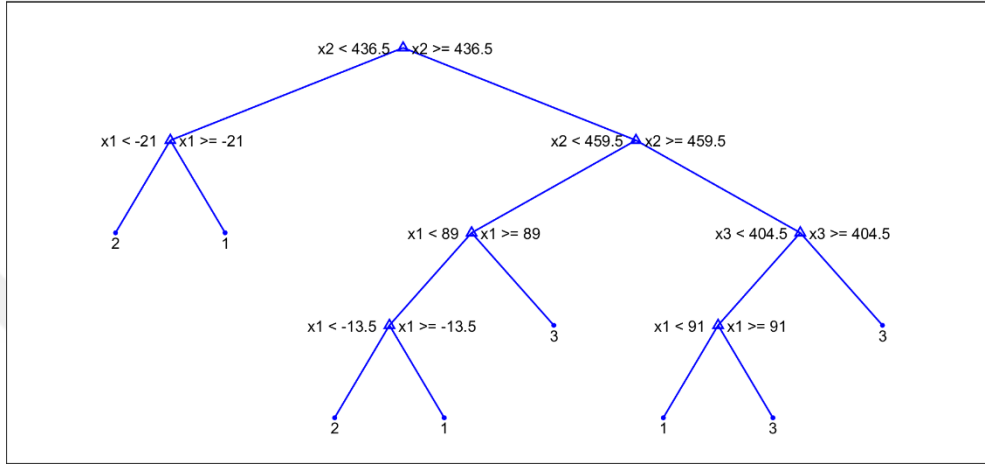
```
DII = int16(cat(3, DII_1_2, DII_1_3, DII_2_3));  
info = geotiffinfo('WV2_Reflectance.tif');  
geoTags = info.GeoTIFFTags.GeoKeyDirectoryTag;  
geotiffwrite('DII.tif',DII,OrgR,'GeoKeyDirectoryTag', geoTags);
```

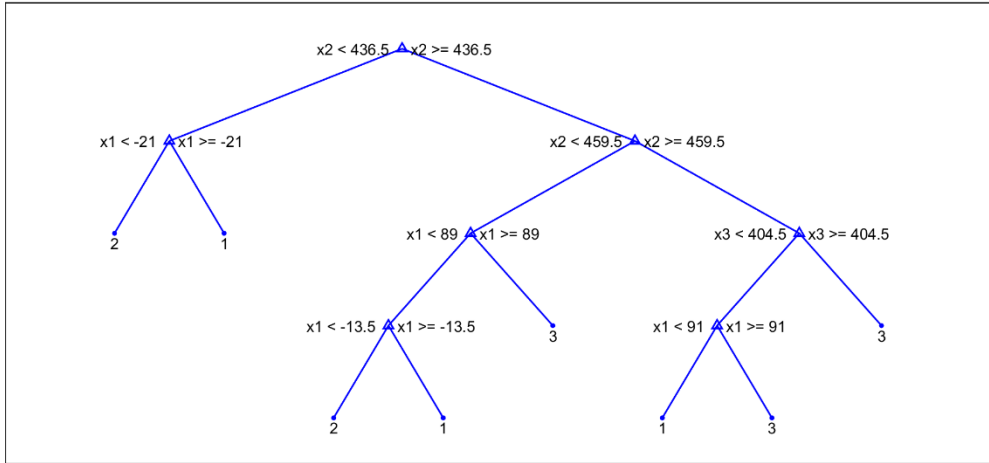
Rastgele Orman: Örnek Karar Ağaçları

RO sınıflandırmasında kullanılan sınıflara ait örnek karar ağaçları.

X1: Bant 1, X2: Bant 2, X3: Bant 3

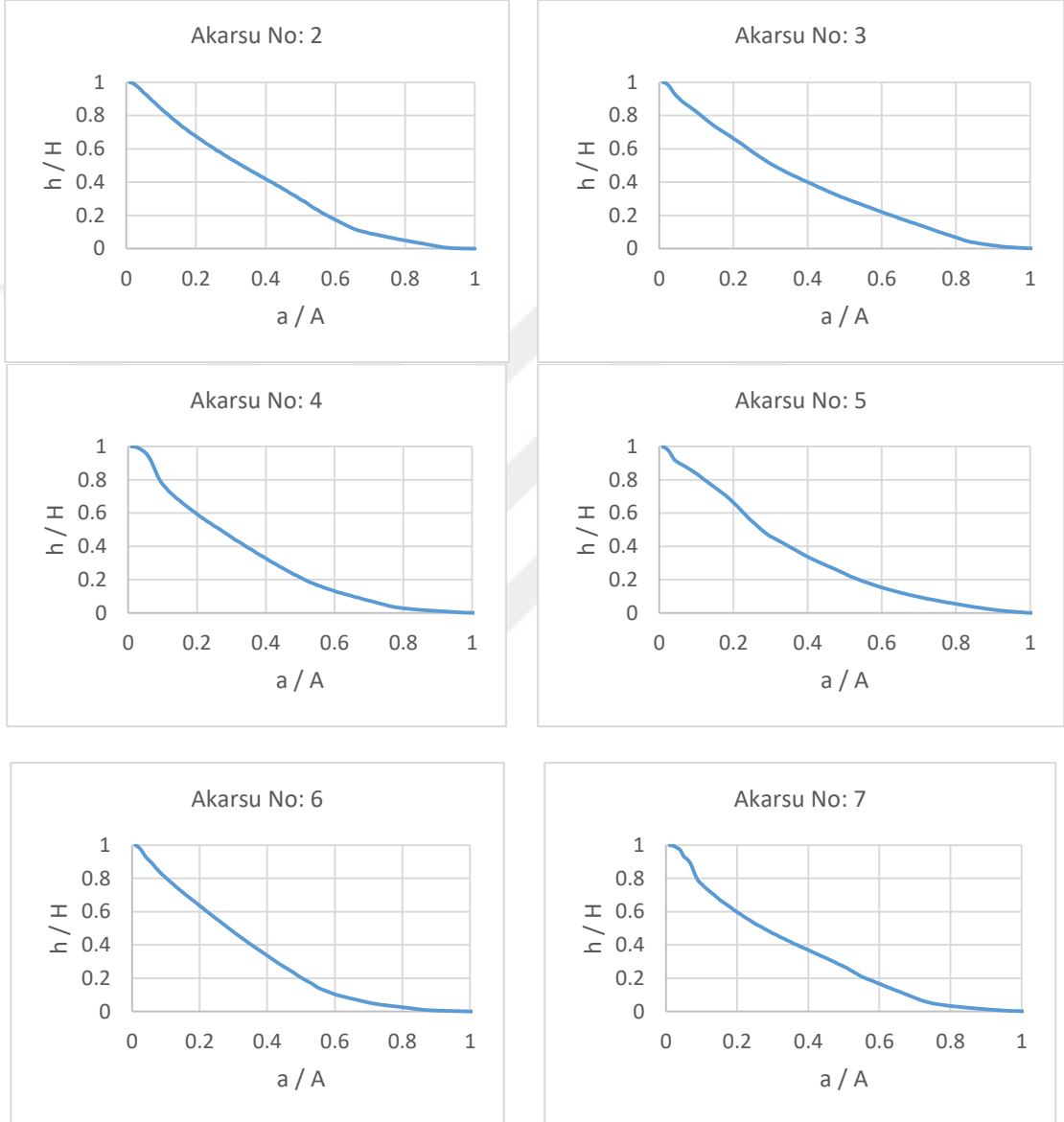
1: 1. Sınıf, 2: 2. Sınıf, 3: 3. Sınıf

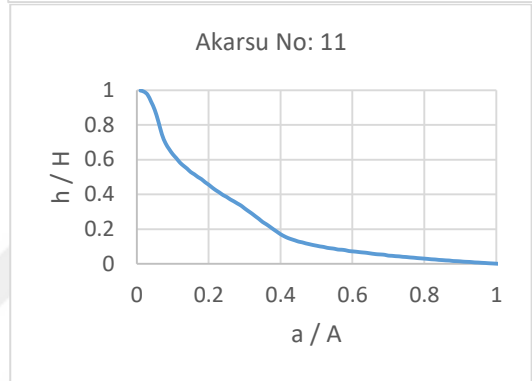
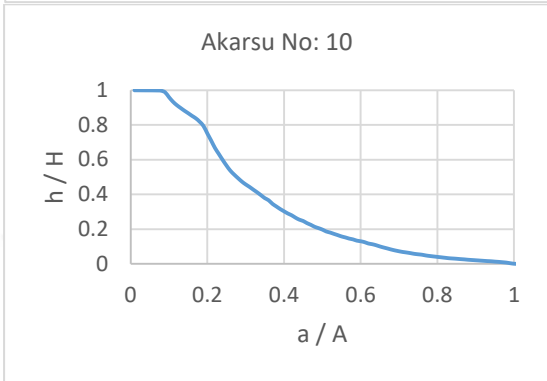
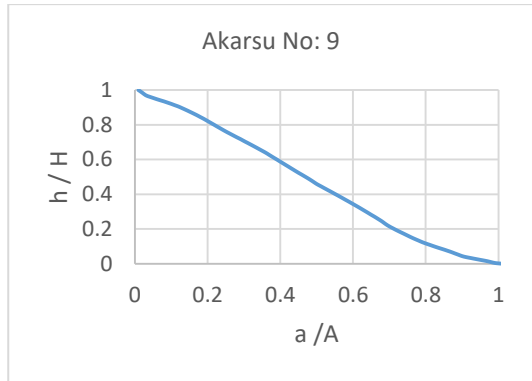
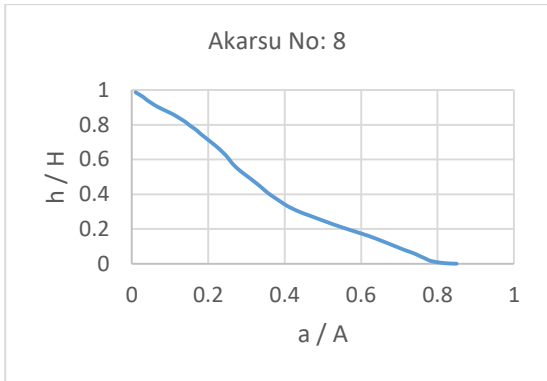




Hipsometrik Eğriler

Akarsulara ait hipsometrik eğriler aşağıdaki gibidir. Hipsometrik integral değerleri ana metin içerisinde Tablo 3.5'te verilmiştir.





İkili Karşılaştırma Formu

Ölçütlerin ağırlıklandırılması için uzmanlara sunulan ikili karşılaştırma formu.

Deniz Çayırlarına Uygun Habitatlarnın Belirlenmesi

Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci) Kriterlerinin İkili Karşılaştırma Formu



Kriterler

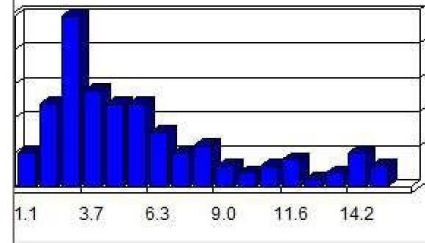
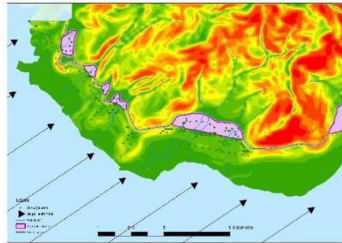
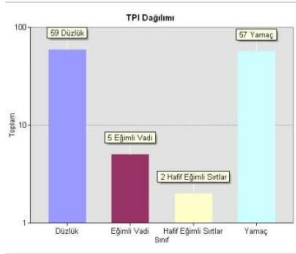
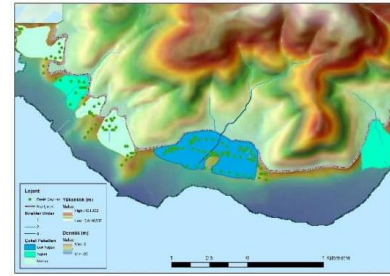
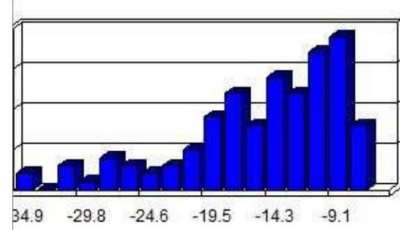
Derinlik: Deniz çayırları yaşam sürecinde güneş ışığına ihtiyaç duyarlar. Güneş ışığının sudaki geçirgenliği derinliğe bağlı olarak katlanarak azalmaktadır. (Min: -34.9 m; Maks: -5.9 m)

Çökel Paketleri: Karadan denize dökülen akarsular bol miktarda besin taşımaktadırlar. Bu akarsular denize döküldükleri bölgelerde çökel paketleri oluştururlar.

Eğim: Kıyılardaki dalga enerjisi ve kırılma derinliği kıyı eğimine göre değişiklik göstermektedir. Eğimin yüksek olduğu dalga hâkim bölgeler deniz çayırları için uygun koşulları sağlamamaktadır. (Min: 1.1°; Maks: 15.9°)

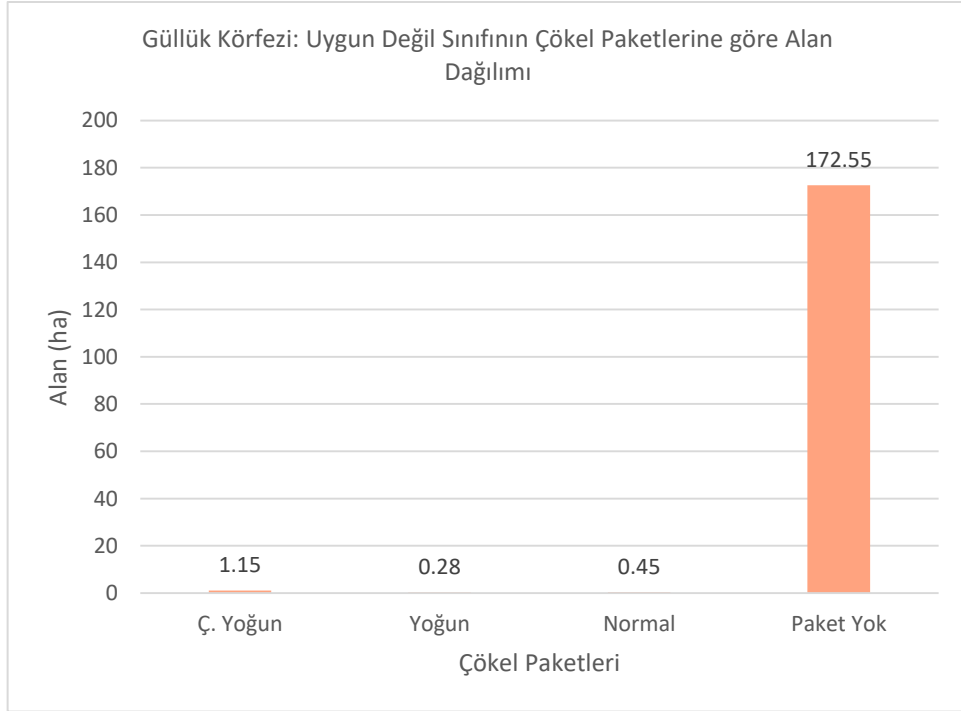
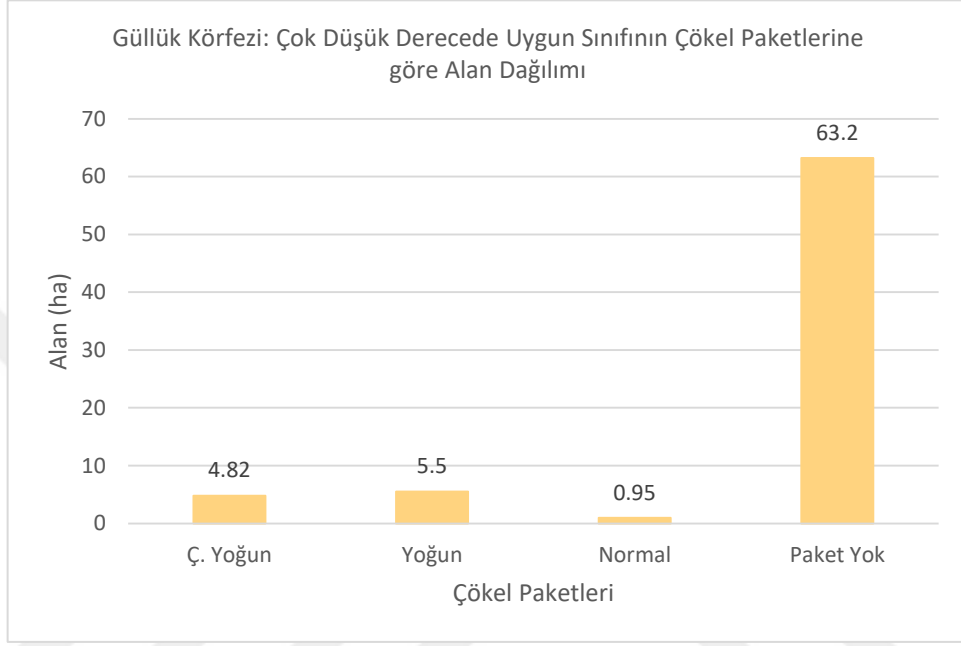
Korunaklı Alanlar: Dalga hakim yönüne bağlı olarak, kıyılarda dalgalardan korunaklı bölgeler oluşabilir. Bu bölgeler deniz çayırlarının için uygun habitat oluşturmaktadır.

Topographic Position Index (TPI): Yerel yükseklik farklarından yola çıkarak bir yeryüzü şekli sınıflandırması olan bu yöntem kullanılmıştır. Bu sayede deniz çayırlarının hangi yerel yeryüzü şekillerinde görüldüğü tespit edilmiştir.

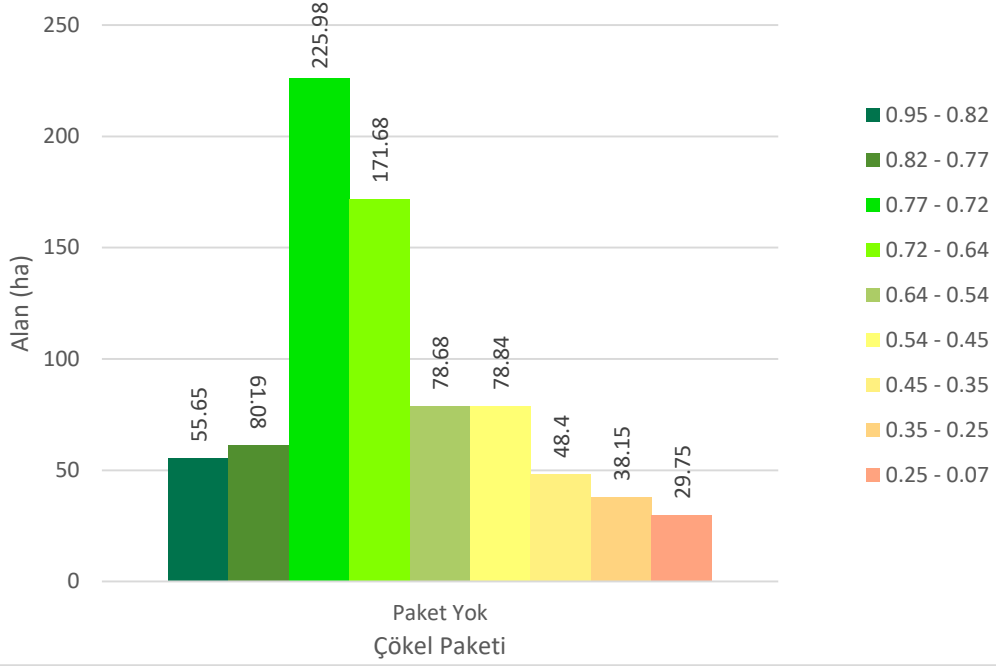


Kriter Karşılaştırma

1.KRİTER	ÖNEM DERESESİ																2.KRİTER
Derinlik	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	Çökel Paketleri
Derinlik	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	Eğim
Derinlik	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	Korunaklı Alanlar
Derinlik	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	TPI
Çökel Paketleri	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	Eğim
Çökel Paketleri	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	Korunaklı Alanlar
Çökel Paketleri	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	TPI
Eğim	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	Korunaklı Alanlar
Eğim	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	TPI
Korunaklı Alanlar	9	8	7	6	5	4	3	2	2	3	4	5	6	7	8	9	TPI



Gökova Körfezi: 'Paket Yok' Çökel Paketi Sınıfına göre Habitat Uygunluk Dağılımı



- [1] D. J. Wright and W. D. Heyman, "Introduction to the Special Issue: Marine and Coastal GIS for Geomorphology, Habitat Mapping, and Marine Reserves," *Marine Geodesy*, vol. 31, pp. 223-230, 2008/12/05 2008.
- [2] Z. Kızılkaya, "Akdeniz Koruma Derneği," *P. oceanica*, Ed., ed, 2018.
- [3] G. Pergent, V. Gerakaris, Y. R. Sghaier, R. Zakhama-Sraier, Y. Fernández Torquemada, and C. Pergent-Martini. (2016, Erişim Tarihi: 21 Şubat 2017). *The IUCN Red List of Threatened Species 2016*. Available: <https://www.iucnredlist.org/species/153534/135156882>
- [4] C. J. Brown, S. J. Smith, P. Lawton, and J. T. Anderson, "Benthic habitat mapping: A review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 92, pp. 502-520, 5/1/ 2011.
- [5] B. Worm, E. B. Barbier, N. Beaumont, J. E. Duffy, C. Folke, B. S. Halpern, *et al.*, "Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services," *Science*, vol. 314, pp. 787-790, 2006.
- [6] B. S. Halpern, S. Walbridge, K. A. Selkoe, C. V. Kappel, F. Micheli, C. D'Agrosa, *et al.*, "A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems," *Science*, vol. 319, pp. 948-952, 2008.
- [7] P. Somerfield, R. Warwick, T. Moens, A. ELEFThERIOU, and A. MCINTYRE, "Methods for the study of marine benthos," *Meiofauna techniques. Blackwell Science*, pp. 229-272, 2005.
- [8] H. B. Van Rein, C. J. Brown, R. Quinn, and J. Breen, "A review of sublittoral monitoring methods in temperate waters: a focus on scale," *Underwater Technology*, vol. 28, pp. 99-113, 2009.
- [9] T. C. Gaida, T. A. Tengku Ali, M. Snellen, and D. G. Simons, "A multispectral Bayesian method for improved discrimination performance of seabed sediment classification using multi-frequency multibeam backscatter data," in *GeoHab*, Santa Barbara, California, ABD, 2018.
- [10] B. R. Costa, "Multispectral acoustic backscatter: How useful is it for marine habitat mapping and management?," in *GeoHab*, Santa Barbara, California, ABD, 2018.
- [11] D. Buscombe, P. E. Grams, and M. Kaplinski, "Probabilistic models of seafloor composition using multispectral acoustic backscatter: The benthic detectorists," in *GeoHab*, Santa Barbara, California, ABD, 2018.
- [12] M. Lacharité, C. J. Brown, and V. Gazzola, "Multisource multibeam backscatter data: developing a strategy for the production of benthic habitat maps using semi-

- automated seafloor classification methods," *Marine Geophysical Research*, vol. 39, pp. 307-322, 2018/06/01 2018.
- [13] D. Ierodiaconou, A. C. G. Schimel, D. Kennedy, J. Monk, G. Gaylard, M. Young, *et al.*, "Combining pixel and object based image analysis of ultra-high resolution multibeam bathymetry and backscatter for habitat mapping in shallow marine waters," *Marine Geophysical Research*, vol. 39, pp. 271-288, 2018/06/01 2018.
- [14] J. A. Turner, R. C. Babcock, R. Hovey, and G. A. Kendrick, "Can single classifiers be as useful as model ensembles to produce benthic seabed substratum maps?," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 204, pp. 149-163, 2018/05/01/ 2018.
- [15] R. Ferretti, M. Bibuli, M. Caccia, D. Chiarella, A. Odetti, A. Ranieri, *et al.*, "Machine learning methods for acoustic-based automatic Posidonia meadows detection by means of unmanned marine vehicles," in *OCEANS*, Aberdeen, 2017, pp. 1-6.
- [16] G. Montereale Gavazzi, F. Madricardo, L. Janowski, A. Kruss, P. Blondel, M. Sigovini, *et al.*, "Evaluation of seabed mapping methods for fine-scale classification of extremely shallow benthic habitats – Application to the Venice Lagoon, Italy," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 170, pp. 45-60, 2016/03/05/ 2016.
- [17] J. Smith, P. E. O'Brien, J. S. Stark, G. J. Johnstone, and M. J. Riddle, "Integrating multibeam sonar and underwater video data to map benthic habitats in an East Antarctic nearshore environment," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 164, pp. 520-536, 10/5/ 2015.
- [18] C. Zhang, "Applying data fusion techniques for benthic habitat mapping and monitoring in a coral reef ecosystem," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 104, pp. 213-223, 6// 2015.
- [19] V. Henriques, M. T. Guerra, B. Mendes, M. J. Gaudêncio, and P. Fonseca, "Benthic habitat mapping in a Portuguese Marine Protected Area using EUNIS: An integrated approach," *Journal of Sea Research*, vol. 100, pp. 77-90, 6// 2015.
- [20] I. Galparsoro, J. G. Rodríguez, I. Menchaca, I. Quincoces, J. M. Garmendia, and Á. Borja, "Benthic habitat mapping on the Basque continental shelf (SE Bay of Biscay) and its application to the European Marine Strategy Framework Directive," *Journal of Sea Research*, vol. 100, pp. 70-76, 6// 2015.
- [21] L. Buhl-Mortensen, P. Buhl-Mortensen, M. J. F. Dolan, and G. Gonzalez-Mirelis, "Habitat mapping as a tool for conservation and sustainable use of marine resources: Some perspectives from the MAREANO Programme, Norway," *Journal of Sea Research*, vol. 100, pp. 46-61, 6// 2015.
- [22] J. Barrell, J. Grant, A. Hanson, and M. Mahoney, "Evaluating the complementarity of acoustic and satellite remote sensing for seagrass landscape mapping," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 36, pp. 4069-4094, 2015/08/18 2015.
- [23] P. Blondel, M. Prampolini, and F. Foglini, "Acoustic textures and multibeam mapping of shallow marine habitats - Examples from Eastern Malta," in *Proceedings of the Institute of Acoustics. Vol. 37.*, ed: Institute of Acoustics, 2015, p. 250.

- [24] J. Calvert, J. A. Strong, M. Service, C. McGonigle, and R. Quinn, "An evaluation of supervised and unsupervised classification techniques for marine benthic habitat mapping using multibeam echosounder data," *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, vol. 72, pp. 1498-1513, June 1, 2015 2015.
- [25] Y. Rzhanov, L. Fonseca, and L. Mayer, "Construction of seafloor thematic maps from multibeam acoustic backscatter angular response data," *Computers & Geosciences*, vol. 41, pp. 181-187, 4// 2012.
- [26] C. J. Brown, J. A. Sameoto, and S. J. Smith, "Multiple methods, maps, and management applications: Purpose made seafloor maps in support of ocean management," *Journal of Sea Research*, vol. 72, pp. 1-13, 8// 2012.
- [27] R. Che Hasan, D. Ierodionou, and L. Laurenson, "Combining angular response classification and backscatter imagery segmentation for benthic biological habitat mapping," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 97, pp. 1-9, 1/20/ 2012.
- [28] R. Che Hasan, D. Ierodionou, and J. Monk, "Evaluation of Four Supervised Learning Methods for Benthic Habitat Mapping Using Backscatter from Multi-Beam Sonar," *Remote Sensing*, vol. 4, p. 3427, 2012.
- [29] R. Plets, A. Clements, R. Quinn, J. Strong, J. Breen, and H. Edwards, "Marine substratum map of the Causeway Coast, Northern Ireland," *Journal of Maps*, vol. 8, pp. 1-13, 2012/03/01 2012.
- [30] D. Ierodionou, J. Monk, A. Rattray, L. Laurenson, and V. L. Versace, "Comparison of automated classification techniques for predicting benthic biological communities using hydroacoustics and video observations," *Continental Shelf Research*, vol. 31, pp. S28-S38, 2011/02/15/ 2011.
- [31] E. Coiras, C. Lo Iacono, E. Gracia, J. Danobeitia, and J. L. Sanz, "Automatic Segmentation of Multi-Beam Data for Predictive Mapping of Benthic Habitats on the Chella Seamount (North-Eastern Alboran Sea, Western Mediterranean)," *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, vol. 4, pp. 809-813, 2011.
- [32] G. De Falco, R. Tonielli, G. Di Martino, S. Innangi, S. Simeone, and I. Michael Parnum, "Relationships between multibeam backscatter, sediment grain size and *Posidonia oceanica* seagrass distribution," *Continental Shelf Research*, vol. 30, pp. 1941-1950, 10/31/ 2010.
- [33] C. McGonigle, C. J. Brown, and R. Quinn, "Insonification orientation and its relevance for image-based classification of multibeam backscatter," *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, vol. 67, pp. 1010-1023, July 1, 2010 2010.
- [34] D. Ierodionou, L. Laurenson, S. Burq, and M. Reston, "Marine benthic habitat mapping using Multibeam data, georeferenced video and image classification techniques in Victoria, Australia," *Journal of Spatial Science*, vol. 52, pp. 93-104, 2007/06/01 2007.
- [35] P. Blondel and O. Gómez Sichi, "Textural analyses of multibeam sonar imagery from Stanton Banks, Northern Ireland continental shelf," *Applied Acoustics*, vol. 70, pp. 1288-1297, 10// 2009.

- [36] J. Preston, "Automated acoustic seabed classification of multibeam images of Stanton Banks," *Applied Acoustics*, vol. 70, pp. 1277-1287, 10// 2009.
- [37] D. G. Simons and M. Snellen, "A Bayesian approach to seafloor classification using multi-beam echo-sounder backscatter data," *Applied Acoustics*, vol. 70, pp. 1258-1268, 10// 2009.
- [38] L. Fonseca, C. Brown, B. Calder, L. Mayer, and Y. Rzhanov, "Angular range analysis of acoustic themes from Stanton Banks Ireland: A link between visual interpretation and multibeam echosounder angular signatures," *Applied Acoustics*, vol. 70, pp. 1298-1304, 10// 2009.
- [39] B. M. Costa, T. A. Battista, and S. J. Pittman, "Comparative evaluation of airborne LiDAR and ship-based multibeam SoNAR bathymetry and intensity for mapping coral reef ecosystems," *Remote Sensing of Environment*, vol. 113, pp. 1082-1100, 5/15/ 2009.
- [40] A. Rattray, D. Ierodiaconou, L. Laurensen, S. Burq, and M. Reston, "Hydro-acoustic remote sensing of benthic biological communities on the shallow South East Australian continental shelf," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 84, pp. 237-245, 9/10/ 2009.
- [41] O. Christensen, V. Kostylev, O. Longva, T. Thorsnes, R. C. Courtney, and B. Gjevik, "Correlations of geological and biological elements in marine habitat mapping in glaciated areas; field tests from the coast of Møre and Romsdal County, western Norway," *Norwegian Journal of Geology*, vol. 89, pp. 229-246, 2009.
- [42] M. F. J. Dolan, P. Buhl-Mortensen, T. Thorsnes, L. Buhl-Mortensen, V. K. Bellec, and R. Bøe, "Developing seabed nature-type maps offshore Norway: initial results from the MAREANO programme," *Norwegian Journal of Geology/Norsk Geologisk Forening*, vol. 89, 2009.
- [43] I. Marsh and C. Brown, "Neural network classification of multibeam backscatter and bathymetry data from Stanton Bank (Area IV)," *Applied Acoustics*, vol. 70, pp. 1269-1276, 10// 2009.
- [44] L. Godet, J. Fournier, N. Toupoint, and F. Olivier, "Mapping and monitoring intertidal benthic habitats: a review of techniques and a proposal for a new visual methodology for the European coasts," *Progress in Physical Geography*, vol. 33, pp. 378-402, June 1, 2009 2009.
- [45] M. D. Erdey-Heydorn, "An ArcGIS Seabed Characterization Toolbox Developed for Investigating Benthic Habitats," *Marine Geodesy*, vol. 31, pp. 318-358, 2008/12/05 2008.
- [46] F. O. Nitsche, W. B. F. Ryan, S. M. Carbotte, R. E. Bell, A. Slagle, C. Bertinado, *et al.*, "Regional patterns and local variations of sediment distribution in the Hudson River Estuary," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 71, pp. 259-277, 1// 2007.
- [47] J. Franklin, *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*: Cambridge University Press, 2010.

- [48] M. S. Hossain, J. S. Bujang, M. H. Zakaria, and M. Hashim, "The application of remote sensing to seagrass ecosystems: an overview and future research prospects," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 36, pp. 61-114, 2015.
- [49] D. Traganos and P. Reinartz, "Machine learning-based retrieval of benthic reflectance and *Posidonia oceanica* seagrass extent using a semi-analytical inversion of Sentinel-2 satellite data," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 39, pp. 9428-9452, 2018/12/17 2018.
- [50] D. Ventura, A. Bonifazi, F. M. Gravina, A. Belluscio, and G. Ardizzone, "Mapping and Classification of Ecologically Sensitive Marine Habitats Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery and Object-Based Image Analysis (OBIA)," *Remote Sensing*, vol. 10, 2018.
- [51] D. Traganos and P. Reinartz, "Interannual Change Detection of Mediterranean Seagrasses Using RapidEye Image Time Series," *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, p. 96, 2018.
- [52] F. Eugenio, J. Marcello, J. Martin, and D. Rodríguez-Esparragón, "Benthic Habitat Mapping Using Multispectral High-Resolution Imagery: Evaluation of Shallow Water Atmospheric Correction Techniques," *Sensors*, vol. 17, 2017.
- [53] R. Pu and S. Bell, "Mapping seagrass coverage and spatial patterns with high spatial resolution IKONOS imagery," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 54, pp. 145-158, 2017/02/01/ 2017.
- [54] W. Koedsin, W. Intararuang, J. R. Ritchie, and A. Huete, "An Integrated Field and Remote Sensing Method for Mapping Seagrass Species, Cover, and Biomass in Southern Thailand," *Remote Sensing*, vol. 8, 2016.
- [55] S. Misbari and M. Hashim, "Change Detection of Submerged Seagrass Biomass in Shallow Coastal Water," *Remote Sensing*, vol. 8, p. 200, 2016.
- [56] A. Pacheco, J. Horta, C. Loureiro, and Ó. Ferreira, "Retrieval of nearshore bathymetry from Landsat 8 images: A tool for coastal monitoring in shallow waters," *Remote Sensing of Environment*, vol. 159, pp. 102-116, 2015.
- [57] K. Kim, J.-K. Choi, J.-H. Ryu, H. J. Jeong, K. Lee, M. G. Park, *et al.*, "Observation of typhoon-induced seagrass die-off using remote sensing," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 154, pp. 111-121, 2015.
- [58] M. S. Hossain, J. S. Bujang, M. H. Zakaria, and M. Hashim, "Application of Landsat images to seagrass areal cover change analysis for Lawas, Terengganu and Kelantan of Malaysia," *Continental Shelf Research*, vol. 110, pp. 124-148, 2015.
- [59] M. S. Hossain, J. S. Bujang, M. H. Zakaria, and M. Hashim, "Assessment of Landsat 7 Scan Line Corrector-off data gap-filling methods for seagrass distribution mapping," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 36, pp. 1188-1215, 2015.
- [60] M. S. Hossain, B. J. Sidik, and Z. M. Harah, "Landsat image enhancement techniques for subtidal and intertidal seagrass detection and distribution mapping in the coastal waters of Sungai Pulai estuary, Malaysia," 2015.

- [61] R. Pu, S. Bell, and C. Meyer, "Mapping and assessing seagrass bed changes in Central Florida's west coast using multitemporal Landsat TM imagery," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 149, pp. 68-79, 2014.
- [62] T. Blakey, A. Melesse, and M. O. Hall, "Supervised Classification of Benthic Reflectance in Shallow Subtropical Waters Using a Generalized Pixel-Based Classifier across a Time Series," *Remote Sensing*, vol. 7, pp. 5098-5116, 2015.
- [63] H. El-Askary, S. H. Abd El-Mawla, J. Li, M. M. El-Hattab, and M. El-Raey, "Change detection of coral reef habitat using Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI data in the Red Sea (Hurghada, Egypt)," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 35, pp. 2327-2346, 2014.
- [64] V. J. Hill, R. C. Zimmerman, W. P. Bissett, H. Dierssen, and D. D. R. Kohler, "Evaluating Light Availability, Seagrass Biomass, and Productivity Using Hyperspectral Airborne Remote Sensing in Saint Joseph's Bay, Florida," *Estuaries and Coasts*, vol. 37, pp. 1467-1489, 2014/11/01 2014.
- [65] R. Pu and S. Bell, "A protocol for improving mapping and assessing of seagrass abundance along the West Central Coast of Florida using Landsat TM and EO-1 ALI/Hyperion images," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 83, pp. 116-129, 2013.
- [66] M. B. Lyons, C. M. Roelfsema, and S. R. Phinn, "Towards understanding temporal and spatial dynamics of seagrass landscapes using time-series remote sensing," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 120, pp. 42-53, 2013.
- [67] C. Roelfsema, E. M. Kovacs, M. I. Saunders, S. Phinn, M. Lyons, and P. Maxwell, "Challenges of remote sensing for quantifying changes in large complex seagrass environments," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 133, pp. 161-171, 2013.
- [68] D. Torres-Pulliza, J. R. Wilson, A. Darmawan, S. J. Campbell, and S. Andréfouët, "Ecoregional scale seagrass mapping: A tool to support resilient MPA network design in the Coral Triangle," *Ocean & coastal management*, vol. 80, pp. 55-64, 2013.
- [69] R. Pu, S. Bell, C. Meyer, L. Baggett, and Y. Zhao, "Mapping and assessing seagrass along the western coast of Florida using Landsat TM and EO-1 ALI/Hyperion imagery," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 115, pp. 234-245, 2012.
- [70] M. B. Lyons, S. R. Phinn, and C. M. Roelfsema, "Long term land cover and seagrass mapping using Landsat and object-based image analysis from 1972 to 2010 in the coastal environment of South East Queensland, Australia," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 71, pp. 34-46, 2012.
- [71] A. G. Dekker, V. E. Brando, and J. M. Anstee, "Retrospective seagrass change detection in a shallow coastal tidal Australian lake," *Remote Sensing of Environment*, vol. 97, pp. 415-433, 2005.
- [72] M. Lyons, S. Phinn, and C. Roelfsema, "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*, vol. 3, 2011.

- [73] S. Phinn, C. Roelfsema, A. Dekker, V. Brando, and J. Anstee, "Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia)," *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, pp. 3413-3425, 2008.
- [74] C. C. Wabnitz, S. Andréfouët, D. Torres-Pulliza, F. E. Müller-Karger, and P. A. Kramer, "Regional-scale seagrass habitat mapping in the Wider Caribbean region using Landsat sensors: Applications to conservation and ecology," *Remote Sensing of Environment*, vol. 112, pp. 3455-3467, 2008.
- [75] F. Holon, G. Marre, V. Parravicini, N. Mouquet, T. Bockel, P. Descamp, *et al.*, "A predictive model based on multiple coastal anthropogenic pressures explains the degradation status of a marine ecosystem: Implications for management and conservation," *Biological Conservation*, vol. 222, pp. 125-135, 2018/06/01/ 2018.
- [76] D. R. M. Jayatilake and M. J. Costello, "A modelled global distribution of the seagrass biome," *Biological Conservation*, vol. 226, pp. 120-126, 2018/10/01/ 2018.
- [77] M. B. Fernandes, R. Daly, J. van Gils, T. Kildea, S. Caires, and P. L. A. Erfemeijer, "Parameterization of an optical model to refine seagrass habitat requirements in an urbanized coastline," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 207, pp. 471-482, 2018/07/31/ 2018.
- [78] A. Hotaling-Hagan, R. Swett, L. R. Ellis, and T. K. Frazer, "A spatial model to improve site selection for seagrass restoration in shallow boating environments," *Journal of Environmental Management*, vol. 186, pp. 42-54, 2017/01/15/ 2017.
- [79] M. I. Saunders, S. Atkinson, C. J. Klein, T. Weber, and H. P. Possingham, "Increased sediment loads cause non-linear decreases in seagrass suitable habitat extent," *PLOS ONE*, vol. 12, p. e0187284, 2017.
- [80] M. Lanuru, S. Mashoreng, and K. Amri, "Using site-selection model to identify suitable sites for seagrass transplantation in the west coast of South Sulawesi," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 979, p. 012007, 2018/03 2018.
- [81] E. O. Folmer, J. E. E. van Beusekom, T. Dolch, U. Gräwe, M. M. van Katwijk, K. Kolbe, *et al.*, "Consensus forecasting of intertidal seagrass habitat in the Wadden Sea," *Journal of Applied Ecology*, vol. 53, pp. 1800-1813, 2016/12/01 2016.
- [82] M. P. Adams, R. K. Hovey, M. R. Hipsey, L. C. Bruce, M. Ghisalberti, R. J. Lowe, *et al.*, "Feedback between sediment and light for seagrass: Where is it important?," *Limnology and Oceanography*, vol. 61, pp. 1937-1955, 2016/11/01 2016.
- [83] D. J. Shafer, T. M. Swannack, C. Saltus, J. E. Kaldy, and A. Davis, "Development and validation of a habitat suitability model for the non-indigenous seagrass *Zostera japonica* in North America," *Manage. Biol. Invasions*, vol. 7, pp. 141-155, 2016.
- [84] M. Zucchetta, C. Venier, M. A. Taji, A. Mangin, and R. Pastres, "Modelling the spatial distribution of the seagrass *Posidonia oceanica* along the North African coast: Implications for the assessment of Good Environmental Status," *Ecological Indicators*, vol. 61, pp. 1011-1023, 2016/02/01/ 2016.

- [85] R. M. Chefaoui, J. Assis, C. M. Duarte, and E. A. Serrão, "Large-Scale Prediction of Seagrass Distribution Integrating Landscape Metrics and Environmental Factors: The Case of *Cymodocea nodosa* (Mediterranean–Atlantic)," *Estuaries and Coasts*, vol. 39, pp. 123-137, 2016/01/01 2016.
- [86] M. Valle, J. M. Garmendia, G. Chust, J. Franco, and Á. Borja, "Increasing the chance of a successful restoration of *Zostera noltii* meadows," *Aquatic Botany*, vol. 127, pp. 12-19, 2015/11/01/ 2015.
- [87] M. Pirrotta, A. Tomasello, A. Scannavino, G. Di Maida, F. Luzzu, G. Bellissimo, *et al.*, "Transplantation assessment of degraded *Posidonia oceanica* habitats: site selection and long-term monitoring," *Mediterranean Marine Science*, vol. 16, pp. 591-604, 2015.
- [88] F. Boscutti, I. Marcorin, M. Sigura, E. Bressan, F. Tamberlich, A. Vianello, *et al.*, "Distribution modeling of seagrasses in brackish waters of Grado-Marano lagoon (Northern Adriatic Sea)," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 164, pp. 183-193, 2015/10/05/ 2015.
- [89] D. P. Callaghan, J. X. Leon, and M. I. Saunders, "Wave modelling as a proxy for seagrass ecological modelling: Comparing fetch and process-based predictions for a bay and reef lagoon," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 153, pp. 108-120, 2015/02/05/ 2015.
- [90] J. Zhou, Q. Wang, W. Zhao, D. Yu, and S. Guan, "Habitat suitability analysis of eelgrass *Zostera marina* L. in the subtidal zone of Xiaoheishan Island," *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, vol. 34, pp. 69-78, 2016/01/01 2016.
- [91] M. Valle, G. Chust, A. del Campo, M. S. Wisz, S. M. Olsen, J. M. Garmendia, *et al.*, "Projecting future distribution of the seagrass *Zostera noltii* under global warming and sea level rise," *Biological Conservation*, vol. 170, pp. 74-85, 2014/02/01/ 2014.
- [92] A.-L. Downie, M. von Numers, and C. Boström, "Influence of model selection on the predicted distribution of the seagrass *Zostera marina*," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 121-122, pp. 8-19, 2013/04/10/ 2013.
- [93] D. March, J. Alós, M. Cabanellas-Reboredo, E. Infantes, A. Jordi, and M. Palmer, "A Bayesian spatial approach for predicting seagrass occurrence," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 131, pp. 206-212, 2013/10/10/ 2013.
- [94] M. Valle, Á. Borja, G. Chust, I. Galparsoro, and J. M. Garmendia, "Modelling suitable estuarine habitats for *Zostera noltii*, using Ecological Niche Factor Analysis and Bathymetric LiDAR," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 94, pp. 144-154, 2011/08/20/ 2011.
- [95] A. Grech, R. Coles, and H. Marsh, "A broad-scale assessment of the risk to coastal seagrasses from cumulative threats," *Marine Policy*, vol. 35, pp. 560-567, 2011/09/01/ 2011.
- [96] Rolando O. Santos and D. Lirman, "Using habitat suitability models to predict changes in seagrass distribution caused by water management practices|This article is derived from a special session entitled "A New Hydrology: Inflow Effects on Ecosystem Form and Functioning" that took place at the February 2011

- ASLO Aquatic Sciences conference in San Juan, Puerto Rico," *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 69, pp. 1380-1388, 2012/08/01 2012.
- [97] T. van der Heide, E. T. H. M. Peeters, D. C. R. Hermus, M. M. van Katwijk, J. G. M. Roelofs, and A. J. P. Smolders, "Predicting habitat suitability in temperate seagrass ecosystems," *Limnology and Oceanography*, vol. 54, pp. 2018-2024, 2009/11/01 2009.
- [98] E. Infantes, J. Terrados, A. Orfila, B. Cañellas, and A. Álvarez-Ellacuría, "Wave energy and the upper depth limit distribution of *Posidonia oceanica*," in *Botanica Marina* vol. 52, ed, 2009, p. 419.
- [99] E. Rinde, T. Bekkby, L. Erikstad, V. Bakkestuen, O. Longva, O. Christensen, *et al.*, "Spatial probability modelling of eelgrass (*Zostera marina*) distribution on the west coast of Norway," *ICES Journal of Marine Science*, vol. 65, pp. 1093-1101, 2008.
- [100] C. M. Duarte, N. Marbà, D. Krause-Jensen, and M. Sánchez-Camacho, "Testing the predictive power of seagrass depth limit models," *Estuaries and Coasts*, vol. 30, p. 652, 2007/08/01 2007.
- [101] A. R. Bos, N. Dankers, A. H. Groeneweg, D. C. R. Hermus, Z. Jager, D. J. de Jong, *et al.*, "Eelgrass (*Zostera marina* L.) in the western Wadden Sea: monitoring, habitat suitability model, transplantations and communication," in *Dunes and Estuaries*, 2005, pp. 95-109.
- [102] N. M. Kelly, M. Fonseca, and P. Whitfield, "Predictive mapping for management and conservation of seagrass beds in North Carolina," *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 11, pp. 437-451, 2001/11/01 2001.
- [103] B. B. Adrian and K. H. Dunton, "Field verification of a light-driven model of biomass changes in the seagrass *Halodule wrightii*," *Marine Ecology Progress Series*, vol. 209, pp. 85-98, 2001.
- [104] N. O. Aykut, "Sığ sulardaki hidrografik ölçmelerde çok bimli iskandillerin kullanımı ve hata analizi," Doktora Tezi Doktora Tezi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [105] X. Lurton, *An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications*. Chichester, UK: Praxis, 2010.
- [106] "IHO, Manual on Hydrography," International Hydrographic Bureau, Monaco 2005.
- [107] (23.11.2015). *Kongsberg*. Available: <http://www.km.kongsberg.com/>
- [108] (23.11.2015). *SeaBeam Multibeam Sonar Theory of Operation*. Available: <https://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/MB-System/sonarfunction/SeaBeamMultibeamTheoryOperation.pdf>
- [109] (06.07.2018). *QINSy How-to Methods used to Acquire Sonar Imagery*.
- [110] E. Chuvieco, *Fundamentals of satellite remote sensing: An environmental approach*: CRC press, 2016.
- [111] N. M. Said, M. R. Mahmud, and R. C. Hasan, "Satellite-Derived Bathymetry: Accuracy Assessment on Depths Derivation Algorithm for Shallow Water Area,"

- [112] H. Su, H. Liu, and W. D. Heyman, "Automated Derivation of Bathymetric Information from Multi-Spectral Satellite Imagery Using a Non-Linear Inversion Model," *Marine Geodesy*, vol. 31, pp. 281-298, 2008/12/05 2008.
- [113] D. R. Lyzenga, "Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features," *Applied Optics*, vol. 17, pp. 379-383, 1978/02/01 1978.
- [114] W. D. Philpot, "Bathymetric mapping with passive multispectral imagery," *Applied Optics*, vol. 28, pp. 1569-1578, 1989/04/15 1989.
- [115] R. P. Stumpf, K. Holderied, and M. Sinclair, "Determination of water depth with high-resolution satellite imagery over variable bottom types," *Limnology and Oceanography*, vol. 48, pp. 547-556, 2003/01/01 2003.
- [116] D. R. Lyzenga, N. P. Malinas, and F. J. Tanis, "Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, pp. 2251-2259, 2006.
- [117] R. W. Kiefer, T. M. Lillesand, and J. W. Chipman, "Remote sensing and image interpretation," *University of Gajah Mada University Press. Bulaksumur, Yogyakarta*, 1994.
- [118] W. L. Brown, F. C. Polcyn, and S. R. Stewart, "A method for calculating water depth attenuation coefficients and bottom reflectance characteristics(Water depth attenuation coefficients and bottom reflectance characteristics from large area multispectral scanner measurements for discharge and concentrations monitoring)," 1971, pp. 663-682.
- [119] U. s. G. Flaash, "Atmospheric Correction Module: QUAC and Flaash User Guide v. 4.7," 2009.
- [120] J. D. Hedley, A. R. Harborne, and P. J. Mumby, "Technical note: Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 26, pp. 2107-2112, 2005/05/01 2005.
- [121] D. R. Lyzenga, "Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 2, pp. 71-82, 1981/01/01 1981.
- [122] T. Sagawa, E. Boissier, T. Komatsu, K. B. Mustapha, A. Hattour, N. Kosaka, *et al.*, "Using bottom surface reflectance to map coastal marine areas: a new application method for Lyzenga's model," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 31, pp. 3051-3064, 2010/06/20 2010.
- [123] S. J. Purkis and R. Pasterkamp, "Integrating in situ reef-top reflectance spectra with Landsat TM imagery to aid shallow-tropical benthic habitat mapping," *Coral Reefs*, vol. 23, pp. 5-20, 2004/04/01 2004.
- [124] Z. Lee, K. L. Carder, C. D. Mobley, R. G. Steward, and J. S. Patch, "Hyperspectral remote sensing for shallow waters: 2. Deriving bottom depths and water properties by optimization," *Applied Optics*, vol. 38, pp. 3831-3843, 1999/06/20 1999.

- [125] L. Breiman, "Random Forests," *Machine Learning*, vol. 45, pp. 5-32, 2001/10/01 2001.
- [126] C. Cortes and V. Vapnik, "Support-vector networks," *Machine Learning*, vol. 20, pp. 273-297, 1995/09/01 1995.
- [127] R. Kaundal, A. S. Kapoor, and G. P. S. Raghava. (Erişim Tarihi: 1 Şubat 2019). *A SVM-based server for rice blast prediction dedicated to the farming community*. Available: <http://crdd.osdd.net/raghava/rbpred/home.html>
- [128] A. A. Qaddah and M. F. Abdelwahed, "GIS-based site-suitability modeling for seismic stations: Case study of the northern Rahat volcanic field, Saudi Arabia," *Computers & Geosciences*, vol. 83, pp. 193-208, 2015/10/01/ 2015.
- [129] D. Latinopoulos and K. Kechagia, "A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece," *Renewable Energy*, vol. 78, pp. 550-560, 2015/06/01/ 2015.
- [130] E. Houshyar, M. J. SheikhDavoodi, M. Almassi, H. Bahrami, H. Azadi, M. Omid, *et al.*, "Silage corn production in conventional and conservation tillage systems. Part I: Sustainability analysis using combination of GIS/AHP and multi-fuzzy modeling," *Ecological Indicators*, vol. 39, pp. 102-114, 2014/04/01/ 2014.
- [131] Z. Dong, Z. Wang, D. Liu, L. Li, C. Ren, X. Tang, *et al.*, "Assessment of habitat suitability for waterbirds in the West Songnen Plain, China, using remote sensing and GIS," *Ecological Engineering*, vol. 55, pp. 94-100, 2013/06/01/ 2013.
- [132] R. W. Saaty, "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used," *Mathematical Modelling*, vol. 9, pp. 161-176, 1987/01/01/ 1987.
- [133] H. Voogd, *Multicriteria evaluation for urban and regional planning* vol. 207: Pion London, 1983.
- [134] B. H. Massam, "Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques in planning," *Progress in Planning*, vol. 30, pp. 1-84, 1988/01/01/ 1988.
- [135] J. Malczewski, *GIS and multicriteria decision analysis*: John Wiley & Sons, 1999.
- [136] D. Öztürk, "CBS tabanlı çok ölçütlü karar analizi yöntemleri ile sel ve taşkın duyarlılığının belirlenmesi: Güney Marmara Havzası örneği," Doktora, Harita Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009.
- [137] C. M. Duarte, "Seagrass depth limits," *Aquatic Botany*, vol. 40, pp. 363-377, 1991/01/01/ 1991.
- [138] "IHO Standards For Hydrographic Surveys, Special Publication No. 44," International Hydrographic Bureau, Monaco2008.
- [139] (Erişim Tarihi: 2 Şubat 2019). *SPOT 7 Satellite Sensor*. Available: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/spot-7/>
- [140] (Erişim Tarihi: 3 Şubat 2019). *WorldView-2 Satellite Sensor*. Available: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/worldview-2/>
- [141] D. Traganos and P. Reinartz, "Mapping Mediterranean seagrasses with Sentinel-2 imagery," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 134, pp. 197-209, 2018/09/01/ 2018.

- [142] K. Topouzelis, D. Makri, N. Stoupas, A. Papakonstantinou, and S. Katsanevakis, "Seagrass mapping in Greek territorial waters using Landsat-8 satellite images," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 67, pp. 98-113, 2018/05/01/ 2018.
- [143] E. Okuş, A. Yüksek, I. N. Yılmaz, A. Aslan Yılmaz, S. U. Karhan, N. Demirel, *et al.*, "Gökova Özel Çevre Koruma Bölgesinin Kıyı ve Deniz Alanlarının Biyolojik Çeşitliliğinin Tespiti Projesi," İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü 9758273914, 2006.
- [144] M. Vacchi, M. Montefalcone, C. F. Schiaffino, V. Parravicini, C. N. Bianchi, C. Morri, *et al.*, "Towards a predictive model to assess the natural position of the *Posidonia oceanica* seagrass meadows upper limit," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 83, pp. 458-466, 2014/06/30/ 2014.
- [145] M. F. Hutchinson, T. Xu, and J. A. Stein, "Recent progress in the ANUDEM elevation gridding procedure," in *Geomorphometry 2011*, Redlands, California ABD, 2011, pp. 19-22.
- [146] S. K. Jenson and J. O. Domingue, "Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information-system analysis," *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 54, pp. 1593-1600, 1988.
- [147] D. G. Tarboton, R. L. Bras, and I. Rodriguez-Iturbe, "On the extraction of channel networks from digital elevation data," *Hydrological Processes*, vol. 5, pp. 81-100, 1991/01/01 1991.
- [148] A. N. Strahler, "Quantitative analysis of watershed geomorphology," *EOS, Transactions American Geophysical Union*, vol. 38, pp. 913-920, 1957/12/01 1957.
- [149] J. Iwahashi and R. J. Pike, "Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature," *Geomorphology*, vol. 86, pp. 409-440, 2007/05/01/ 2007.
- [150] A. Weiss, "Topographic position and landforms analysis," in *ESRI user conference*, San Diego, CA, ABD, 2001.
- [151] J. Jasiewicz and T. F. Stepinski, "Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms," *Geomorphology*, vol. 182, pp. 147-156, 2013/01/15/ 2013.
- [152] O. Conrad, B. Bechtel, M. Bock, H. Dietrich, E. Fischer, L. Gerlitz, *et al.*, "System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4," *Geosci. Model Dev.*, vol. 8, pp. 1991-2007, 2015.
- [153] G. D. Team, "Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software," Version 7.4. ed: Open Source Geospatial Foundation, 2018.
- [154] R. Davidson-Arnott, *Introduction to coastal processes and geomorphology*: Cambridge University Press, 2010.
- [155] E. Otay, G. Topçu, R. Ghabchi, and C. Bayındır, "Bozbuğ Çevresel İzleme Programı Nihai Raporu," Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 2008.

- [156] R. Yokoyama, M. Shirasawa, and R. J. Pike, "Visualizing topography by openness: a new application of image processing to digital elevation models," *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 68, pp. 257-266, 2002.
- [157] S. Gobert, N. Laumont, and J.-M. Bouquegneau, "Posidonia oceanica meadow: a low nutrient high chlorophyll (LNHC) system?," *BMC Ecology*, vol. 2, p. 9, 2002/08/21 2002.
- [158] T. Alcoverro, J. Romero, C. M. Duarte, and N. I. LÃf Â³pez, "Spatial and temporal variations in nutrient limitation of seagrass Posidonia oceanica growth in the NW Mediterranean," *Marine Ecology Progress Series*, vol. 146, pp. 155-161, 1997.
- [159] M. Koch, G. Bowes, C. Ross, and X.-H. Zhang, "Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae," *Global Change Biology*, vol. 19, pp. 103-132, 2013/01/01 2013.
- [160] G. F. Jenks, "The data model concept in statistical mapping," *International yearbook of cartography*, vol. 7, pp. 186-190, 1967.
- [161] M. Barlas, C. İkiel, and N. Özdemir, "Gökova Körfezi'ndeki akarsu kaynaklarının fiziksel ve kimyasal açıdan incelenmesi," presented at the Doğu Anadolu Bölgesi I ve II. Su Ürünleri Sempozyumu, 1995.
- [162] Ö. Bozdağ, L. Türkben, V. Mara, G. Özden, and Y. Arısoy, "Kemerköy Termik Santrali Ağır Yük İskelesi Performans Analizleri," presented at the 8. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, İstanbul/ Türkiye, 2014.
- [163] J. Cohen, "A Coefficient of Agreement for Nominal Scales," *Educational and Psychological Measurement*, vol. 20, pp. 37-46, 1960/04/01 1960.
- [164] J. R. Landis and G. G. Koch, "The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data," *Biometrics*, vol. 33, pp. 159-174, 1977.

Makale

1. M. U. Gumusay, T. Bakirman, I. Tuney Kızılkaya ve N. O. Aykut, "A review of seagrass detection, mapping and monitoring applications using acoustic systems," *European Journal of Remote Sensing*, vol. 52:1, pp. 1-29, 2019, DOI: 10.1080/22797254.2018.1544838.

Konferans Bildirileri

1. M. U. Gumusay, T. Bakirman, I. Tuney Kızılkaya ve N. O. Aykut, "Benthic Habitat Mapping with Multi Beam Echo Sounder System," *International Symposium Ecology 2018, 19-23 Haziran 2018, Kastamonu, Türkiye*.

2. T. Bakirman, M. U. Gumusay ve I. Tuney, "Mapping of the Seagrass Cover along the Mediterranean Coast of Turkey Using Landsat 8 OLI Images," *XXIII ISPRS Congress, 12-19 Temmuz 2016, Prag, Çekya*.

Proje

1. M. U. Gümüsay, İ. Tuney Kızılkaya, N. O. Aykut ve T. Bakirman, "Çok Bimli İskandil Sistemi ile Denizaltı Habitat Haritalama," *Normal Araştırma Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi BAP: 2015-05-03-KAP01*.

Ödül

1. TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı (BİDEB) 2214-A Yurt Dışı Doktora Sırası Araştırma Burs Programı, 15.11.2017 - 15.03.2018, HafenCity Universität, Hamburg, Almanya