

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BÖLGESEL ÖLÇEKTE KLOROFİL-A KONSANTRASYONUNUN  
BELİRLENMESİNDE SENTİNEL-3 OLCI VERİLERİNİN KULLANIM  
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Başak DEMİR**

**İletişim Sistemleri Anabilim Dalı**

**Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Programı**

**OCAK 2022**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BÖLGESEL ÖLÇEKTE KLOROFİL-A KONSANTRASYONUNUN  
BELİRLENMESİNDE SENTİNEL-3 OLCI VERİLERİNİN KULLANIM  
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Başak DEMİR  
(705181022)**

**İletişim Sistemleri Anabilim Dalı**

**Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şinasi KAYA**

**OCAK 2022**



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 705181022 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Başak DEMİR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BÖLGESEL ÖLÇEKTE KLOROFİL-A KONSANTRASYONUNUN BELİRLENMESİNDE SENTINEL-3 OLCI VERİLERİNİN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Şinasi KAYA** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU** .....  
İstanbul Üniversitesi

**Doç. Dr. Uğur ALGANCI** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 23 Aralık 2021**  
**Savunma Tarihi : 17 Ocak 2022**





*Anneme,*



## ÖNSÖZ

Eşsiz doğal güzelliklere sahip olan Türkiye'de birçok nedenle deniz kirliliği gün geçtikçe artmaktadır. Marmara Denizi son dönemlerde klorofil-a yoğunluğuna bağlı olarak oluşan müsilaj sorunuyla tehdit altındadır. Farklı dönemlerde klorofil-a konsantrasyonunu incelediğim tez çalışmamda değerli bilgi birikimini, tecrübelerini ve vaktini benimle paylaşan danışmanım Prof. Dr. Şinasi KAYA'ya ve değerli önerileriyle katkı sağlayan Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU'na teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tezimin hazırlanma sürecinde sevgisiyle beni aydınlatan ve her zaman destek olan anneme teşekkür ederim.

Ocak 2022

Başak DEMİR  
Geomatik Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xiii
SEMBOLLER .....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY .....	xxiii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Literatür Araştırması .....	3
1.2.1 Klorofil.....	3
1.2.2 Yerüstü su kütlelerinin trofik seviyeleri.....	5
1.2.3 Deniz kirliliği .....	6
<b>2. SENTİNEL-3 OLCI TEKNİK ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>7</b>
2.1 Sentinel-3 OLCI Özellikleri .....	11
2.2 Çözünürlükler.....	12
2.2.1 Mekansal (uzaysal) çözünürlük .....	12
2.2.2 Radyometrik çözünürlük .....	12
2.3 Uygulama Alanları ve Yapılan Çalışmalar .....	14
2.3.1 Deniz izleme .....	14
2.3.2 Yeryüzü izleme .....	16
2.3.2.1 Absorbe edilen fotosentetik olarak aktif radyasyonun fraksiyonu (FAPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation)) .....	16
2.3.2.2 Yaprak alan indeksi (LAI).....	17
2.3.2.3 OLCI karasal klorofil indeksi (OTCI).....	17
2.3.3 Atmosferik izleme.....	18
2.3.3.1 Atmosferik bileşim.....	18
2.3.3.2 Aydınlatma koşulu .....	18
2.3.4 İklim değişikliği izleme .....	19
2.4 Ürün Türleri.....	20
2.4.1 Seviye-1B.....	20
2.4.2 Seviye-2 kara lrr ve lfr .....	20
2.4.3 Seviye-2 su wrw ve wfr .....	21
2.5 Veri Biçimleri.....	23
2.6 İşleme Seviyeleri .....	24
2.6.1 Seviye-0 algoritmalar ve ürünler.....	24
2.6.2 Seviye-1 algoritmalar ve ürünler.....	25
2.6.2.1 OLCI radyometrik kalibrasyon (radiometric calibration, RC).....	26
2.6.2.2 OLCI spektral kalibrasyon (spectral calibration, SC) .....	26
2.6.2.3 Dünya gözlem modu (earth observation, EO).....	26

2.6.3 Seviye-1B ürünleri tanımı .....	31
2.6.3.1 Yer gözlem modu .....	31
2.6.3.2 Kalibrasyon modları .....	32
2.6.4 Seviye-1 adfler.....	33
2.6.5 Seviye-2 algoritmalar ve ürünler.....	34
2.6.5.1 Ön işleme.....	35
2.6.5.2 Yansıma dönüşümü için parlaklık .....	36
2.6.5.3 Piksel sınıflandırması .....	36
2.6.5.4 Gaz düzeltme .....	37
2.6.5.5 Merkezi dalga boyu düzeltmesi.....	37
2.6.5.6 Su buharı geri kazanımı.....	38
2.6.6 Okyanus işleme .....	38
2.6.6.1 Temel atmosferik düzeltme .....	39
2.6.6.2 Alternatif atmosferik düzeltme (sinir ağı) .....	40
2.6.6.3 OC4Me klorofil .....	40
2.6.6.4 IMT sinir ağı.....	41
2.6.6.5 Saydamlık ürünleri .....	41
2.6.6.6 PAR ürünleri.....	42
2.6.7 Arazi işleme .....	42
2.6.7.1 OLCI küresel bitki örtüsü indeksi (OGVI).....	42
2.6.7.2 OLCI karasal klorofil indeksi (OTCI).....	43
2.6.8 Seviye-2 ürün tanımı .....	44
2.6.8.1 Okyanus ürünleri .....	45
2.6.8.2 Sudaki yansıma .....	46
2.6.8.3 CDM soğurma katsayısı .....	48
2.6.8.4 Alg pigment konsantrasyonu.....	49
2.6.8.5 Toplam askıya alınmış madde miktarı .....	50
2.6.8.6 Yaygın zayıflama katsayısı.....	51
2.6.8.7 Fotosentetik olarak aktif radyasyon .....	52
2.6.8.8 Aerosol optik derinliği.....	53
2.6.8.9 Aerosol angstrom üssü .....	54
2.6.8.10 Su üzerinde bütünleşmiş su buharı sütunu .....	55
2.6.8.11 Okyanus kalitesi ve bilimsel işaretler.....	56
2.6.9 Arazi ürünleri .....	58
2.6.9.1 Küresel bitki örtüsü indeksi (FaPAR) .....	58
2.6.9.2 Düzeltilmiş yansıma .....	59
2.6.9.3 OLCI karasal klorofil indeksi dosyası.....	60
2.6.9.4 Kara ürünleri kalite ve bilimsel işaretler .....	61
2.6.9.5 Kara ürünleri kalitesi ve kara üzerindeki entegre su buharı sütunu ...	63
2.6.10 Seviye-2 adfler .....	64
2.6.10.1 Kontrol parametrelerinin işlenmesi .....	64
2.6.10.2 Ortak işleme parametreleri .....	65
2.6.10.3 Okyanus işleme parametreleri .....	65
2.6.10.4 Arazi işleme parametreleri .....	66
2.7 Sentinel-3A ve Sentinel-3B Analizi.....	66
<b>3. METODOLOJİ .....</b>	<b>69</b>
3.1 Çalışma Alanı .....	70
3.2 Tuna Nehri'nin Karadeniz ve Marmara ile İlişkisi .....	72
3.3 Sentinel-3 OLCI Görüntülerinin Sınıflandırılması.....	73
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>91</b>

<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>95</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>99</b>





## KISALTMALAR

<b>OLCI</b>	: Ocean and Land Colour Instrument
<b>SVM</b>	: Support Vector Machine
<b>ESA</b>	: European Space Agency
<b>NIR</b>	: Near Infrared Reflectance
<b>SR</b>	: Surface Reflectance
<b>MEDPOL</b>	: Akdeniz'de Kirliliğin İzlenmesi
<b>BSIMAP</b>	: Black Sea Integrated Monitoring and Assessment Programme
<b>SÇD</b>	: Su Çerçeve Direktifi
<b>DŞÇD</b>	: Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi
<b>CZCS</b>	: Kıyı Bölgesi Renkli Tarayıcısı
<b>IOCCG</b>	: Uluslararası Okyanus Rengi Koordinasyon Grubu
<b>SNR</b>	: Signal-Noise Ratio
<b>SLSTR</b>	: Sea and Land Surface Temperature Radiometer
<b>CCD</b>	: Charge-Coupled Device
<b>FR</b>	: Full Resolution
<b>RR</b>	: Reduced Resolution
<b>OZA</b>	: Observing Zenith Angle
<b>NPP</b>	: Net Primary Productivity
<b>GMES</b>	: Global Monitoring for Environment and Security
<b>Chl-a</b>	: Chlorophyll-a
<b>SST</b>	: Sea Surface Temperature
<b>SSH</b>	: Sea Surface Height
<b>NRT</b>	: Near Real Time
<b>LULC</b>	: Land Use and Land Cover
<b>FAPAR</b>	: Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation
<b>LAI</b>	: Leaf Area Index
<b>OTCI</b>	: OLCI Terrestrial Chlorophyll Index
<b>GCOS</b>	: Global Climate Observing System
<b>ECV</b>	: Essential Climate Variables
<b>NDVI</b>	: Normalized Difference Vegetation Index
<b>RE</b>	: Red Edge
<b>REP</b>	: Red Edge Position
<b>CCC</b>	: Canopy Chlorophyll Content
<b>SRB</b>	: Surface Radiation Balance
<b>PAR</b>	: Photosynthetically Active Radiation
<b>UNFCCC</b>	: United Nations Framework Convention on Climate Change
<b>IPCC</b>	: Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>EO</b>	: Earth Observing
<b>RC</b>	: Radiometric Calibration
<b>SC</b>	: Spectral Calibration
<b>PDGS</b>	: Payload Data Ground Segment
<b>TOA</b>	: Top of Atmosphere

<b>NTC</b>	: Non-time Critical
<b>OGVI</b>	: OLCI Global Vegetation Index
<b>IWV</b>	: Integrated Water Vapour
<b>CCSDS</b>	: Consultative Committee for Space Data Systems
<b>PDU</b>	: Protocol Data Unit
<b>EFR</b>	: Earth Full Resolution
<b>ERR</b>	: Earth Reduced Resolution
<b>WFR</b>	: Water Full Resolution
<b>WRR</b>	: Water Reduced Resolution
<b>LFR</b>	: Land Full Resolution
<b>LRR</b>	: Land Reduced Resolution
<b>ISP</b>	: Instrument Source Packet
<b>DEM</b>	: Digital Elevation Model
<b>CFI</b>	: Customer Furnished Item
<b>FOV</b>	: Field of View
<b>ECMWF</b>	: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
<b>IC</b>	: Instrument Characterization
<b>LWCM</b>	: Land Water Coastal Maps
<b>CT</b>	: Classification Threshold
<b>MD</b>	: Meteorological Data
<b>ADF</b>	: Auxiliary Data File
<b>LUT</b>	: Lookup Table
<b>RT</b>	: Radiative Transfer
<b>AAC</b>	: Alternative Atmospheric Correction
<b>BAC</b>	: Baseline Atmospheric Correction
<b>MBR</b>	: Maximum Band Range
<b>AOP</b>	: Advanced Oxidation Process
<b>IMT</b>	: Inverse Modeling Techniques
<b>IRTM-NN</b>	: Inverse Radiative Transfer Modeling-Neural Net
<b>TSM</b>	: Total Suspended Matter
<b>IPF</b>	: Instrument Processing Facility
<b>MTCI</b>	: MERIS Terrestrial Chlorophyll Index
<b>CDM</b>	: Colored Dissolved Matter
<b>S3TC</b>	: Sentinel-3 Tandem for Climate
<b>UTNKK</b>	: Uluslararası Tuna Nehri Koruma Komisyonu
<b>SSP</b>	: Sub-Satellite Point
<b>SSI</b>	: Spatial Sampling Interval
<b>PTFE</b>	: Politetrafloroetilen
<b>CDM</b>	: Coloured Dissolved Matter
<b>PDU</b>	: Product Dissemination Unit
<b>OF</b>	: Orbit File
<b>BRDF</b>	: Bidirectional Reflectance Distribution Function

## SEMBOLLER

$\rho$	: Atmosferdeki birim hacimdeki havanın kütlesi
$W$	: Enerji dönüşümü oranını ölçen birim
$\varepsilon$	: Küçük pozitif bir nicelik
$\mu\text{m}$	: Metrenin milyonda birine eşit uzunluk birimi





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.1 : Su kalite sınıfları ve renk kodları. ....	2
Çizelge 1.2 : Karadeniz kıyı suları ötrofikasyon kriterleri. ....	5
Çizelge 1.3 : Marmara kıyı suları ötrofikasyon kriterleri. ....	5
Çizelge 2.1 : SENTINEL-3 OLCI algılayıcısının teknik özellikleri. ....	11
Çizelge 2.2 : OLCI bant özellikleri. ....	13
Çizelge 2.3 : Karşılık gelen ECV and OLCI ürünleri. ....	19
Çizelge 2.4 : Kara jeofizik ürünlerinin tanımı. ....	21
Çizelge 2.5 : Su ve atmosferik jeofizik ürünün tanımı. ....	22
Çizelge 2.8 : OLCI seviye-1 dünya gözlem işleme kısaltmalar. ....	31
Çizelge 2.9 : OL_1_EFR ürünü açıklama (düşürülmüş çözünürlük için OL_1_ERR). .....	32
Çizelge 2.10 : Seviye-1 ADF'ler. ....	33
Çizelge 2.11 : Tüm OLCI seviye-2 parametrelerinin tanımı. ....	44
Çizelge 2.12 : Okyanus ürünleri. ....	46
Çizelge 2.13 : Sudaki yansıma. ....	47
Çizelge 2.14 : CDM soğurma katsayısı. ....	48
Çizelge 2.15 : Alg pigment konsantrasyonu. ....	49
Çizelge 2.16 : Toplam askıya alınmış madde miktarı. ....	50
Çizelge 2.17 : Yaygın zayıflama katsayısı. ....	51
Çizelge 2.18 : Fotosentetik olarak aktif radyasyon. ....	52
Çizelge 2.19 : Aerosol optik derinliği. ....	53
Çizelge 2.20 : Aerosol angstrom üssü. ....	54
Çizelge 2.21 : Su üzerinde bütünleşmiş su buharı sütunu. ....	55
Çizelge 2.22 : Okyanus kalitesi ve bilimsel işaretler. ....	57
Çizelge 2.23 : Küresel bitki örtüsü indeksi. ....	58
Çizelge 2.24 : Düzeltilmiş yansıma. ....	59
Çizelge 2.25 : OLCI karasal klorofil indeksi dosyası. ....	60
Çizelge 2.26 : Kara ürünleri kalite ve bilimsel işaretler. ....	61
Çizelge 2.27 : Kara ürünleri kalitesi ve kara üzerindeki entegre su buharı sütunu. ..	63
Çizelge 2.28 : Seviye-2 ADF'ler. ....	64



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Klorofilin absorpsiyon spektrumları. ....	4
Şekil 2.1 : OLCI belirleme bantları. ....	9
Şekil 2.2 : OLCI görüş alanının şematik görünümü. ....	9
Şekil 2.3 : OLCI'nin temel geometrisi. ....	10
Şekil 2.4 : mgC.m-2.d-1 cinsinden şubat 2019 için birincil üretim haritası.....	14
Şekil 2.5 : OLCI-A'dan GlobColour aylık klorofil ürünü. ....	15
Şekil 3.1 : SVM algoritmasının modeli. ....	69
Şekil 3.2 : Karadeniz'in deniz seviyesi ve yüzey akışlarının görünümü. ....	71
Şekil 3.3 : Tuna Nehri (Danube) ve Karadeniz (Black Sea) bağlantısının görünümü. .....	72
Şekil 3.4 : Marmara Denizi orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (17.04.2020). ....	73
Şekil 3.5 : Marmara Denizi'nin klorofil-a dağılımı (17.04.2020).....	73
Şekil 3.6 : Marmara Denizi sınıflandırılmış uydu görüntüsü (17.04.2020). ....	74
Şekil 3.7 : Karadeniz orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (13.04.2020). ....	75
Şekil 3.8 : Karadeniz'in klorofil-a dağılımı (13.04.2020). ....	75
Şekil 3.9 : Karadeniz sınıflandırılmış uydu görüntüsü (13.04.2020). ....	76
Şekil 3.10 : Marmara Denizi orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (15.08.2020). ....	77
Şekil 3.11 : Marmara Denizi'nin klorofil-a dağılımı (15.08.2020).....	77
Şekil 3.12 : Marmara Denizi sınıflandırılmış uydu görüntüsü (15.08.2020). ....	78
Şekil 3.13 : Karadeniz orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (30.07.2020). ....	79
Şekil 3.14 : Karadeniz'in klorofil-a dağılımı (30.07.2020). ....	79
Şekil 3.15 : Karadeniz sınıflandırılmış uydu görüntü (30.07.2020). ....	80
Şekil 3.16 : Marmara Denizi orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (07.09.2020). ....	81
Şekil 3.17 : Marmara Denizi'nin klorofil-a dağılımı (07.09.2020).....	81
Şekil 3.18 : Marmara Denizi sınıflandırılmış uydu görüntüsü (07.09.2020). ....	82
Şekil 3.19 : Karadeniz orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (15.09.2020). ....	83
Şekil 3.20 : Karadeniz'in klorofil-a dağılımı (15.09.2020). ....	83
Şekil 3.21 : Karadeniz sınıflandırılmış uydu görüntüsü (15.09.2020). ....	84
Şekil 3.22 : Marmara Denizi orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (30.04.2021). ....	85
Şekil 3.23 : Marmara Denizi'nin klorofil-a dağılımı (30.04.2021).....	85
Şekil 3.24 : Marmara Denizi sınıflandırılmış uydu görüntüsü (30.04.2021). ....	86
Şekil 3.25 : Karadeniz orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (10.04.2021). ....	87
Şekil 3.26 : Karadeniz'in klorofil-a dağılımı (10.04.2021).....	87
Şekil 3.27 : Karadeniz sınıflandırılmış uydu görüntüsü (10.04.2021). ....	88

<b>Şekil 3.28</b> : İlkbahar mevsimi için sınıflandırılmış uydu görüntüleri. ....	<b>89</b>
<b>Şekil 3.29</b> : Yaz mevsimi için sınıflandırılmış uydu görüntüleri.....	<b>89</b>
<b>Şekil 3.30</b> : Sonbahar mevsimi için sınıflandırılmış uydu görüntüleri. ....	<b>89</b>



# BÖLGESEL ÖLÇEKTE KLOOROFİL-A KONSANTRASYONUNUN BELİRLENMESİNDE SENTİNEL-3 OLCI VERİLERİNİN KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

## ÖZET

Türkiye güneyde Akdeniz, kuzeyde Karadeniz, batıda Ege Denizi ile çevrilidir. Ülke sınırları içinde bulunan Marmara Denizi, Karadeniz'i Ege Denizi ve Akdeniz'e bağlar. Birbiriyle bağlantılı olan bu denizlerin izlenmesi doğal çevrenin sağlığı ve canlılar için önemlidir. Uzaktan algılama çalışmalarıyla yapılan araştırmalar sonucu denizlerdeki problemler tespit edilmektedir.

Marmara Denizi birçok ekosistemi etkilemesiyle birlikte insan sağlığı içinde önemli bir iç denizdir. Denizin kirliliği doğrudan ya da dolaylı yollarla bütün canlıların hayatına olumsuz yansıyacaktır. Evsel, ticari, endüstriyel, doğal ve tarımsal gibi birçok nedenle deniz kirliliği artmaktadır. Bu durum Marmara Denizi'nde organik ve inorganik kirleticilerin çoğalmasıyla deniz suyuna ve denizde bulunan ekosisteme ciddi zararlar vermektedir. Bununla birlikte Avrupa'nın en büyük ikinci nehri olan Tuna Nehri'nin sanayinin yoğun olduğu ülkelerden, yerleşim yerlerinden ve tarım alanlarından geçerek Karadeniz'e ulaşması ve Karadeniz'de oluşturduğu kirliliğin Marmara Denizi'ne yansımada deniz kirliliğinde büyük bir etkendir.

Sentinel-3 OLCI deniz ve yeryüzü hakkında bilgi kaydeden bir uydudur. Çevre ve iklimsel gözlem çalışmalarında da kullanılmaktadır. Sentinel-3A ve Sentinel-3B olmak üzere iki özdeş uyduya sahiptir.

Tez kapsamında Sentinel-3 OLCI uydu görüntü verileriyle Karadeniz'in batısında ve Marmara Denizi'ndeki klorofil-a konsantrasyonunun neden olduğu kirlilik incelenmiştir. Veriler Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde belirlenen su kalite sınıflarına göre 9 sınıfa ayrılmış ve makine öğrenme algoritması olan destek vektör makinesi (SVM) kullanılarak kontrollü sınıflandırma yapılmıştır. Destek vektör makinesi iki sınıflı doğrusal verilerin veya çok sınıflı doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılması için tasarlanmış bir algoritmadır.

Farklı mevsimlerde alınan 2020 yılına ait sınıflandırılmış uydu görüntülerine göre klorofil-a konsantrasyonunun ilkbaharda en yüksek sonbaharda en düşük olduğu belirlenmiştir. Bununla ilişkili olarak alg konsantrasyonunun da ilkbahar aylarında artış göstermesi bu durumu desteklemektedir. Ek olarak Tuna Nehri'nin Karadeniz'de yarattığı kirliliğin Marmara Denizi'ne yansımada deniz kirliliğinin arttığı değerlendirilmiştir.

Suda yaşayan algler fotosentez yapan canlılardır. Deniz yüzeyinin kirli olması güneş ışınlarını engellediği için bu canlıların fotosentez yapmasına izin vermemektedir. Deniz yüzeyinin kirliliği sonucu ısı dengesi de bozulmaktadır. Bunların sonucunda algler çoğalarak salgı üretir ve müsilaj (deniz salyası) problemine neden olmaktadır.

2021 yılının bahar mevsimine ait Sentinel-3 OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) uydu görüntü verileri incelendiğinde 2020 yılının bahar mevsimine kıyasla Marmara Denizi'ndeki klorofil-a oranında artış görülmüştür. Buna bağlı

olarak oluşan müsilaj Marmara Denizi'nde büyük bir soruna neden olmuştur. Müsilaj probleminin kontrol altına alınabilmesi için Marmara Denizi ve Batı Karadeniz'in düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir.

Sentinel-3 OLCI verileriyle yapılan çalışmalar, yıl içinde mevsimlere bağlı klorofil-a konsantrasyonundaki değişimin takip edilmesi için iyi bir seçenek olabilir. Bunun dışında OLCI için geçmiş yıllara ait verileri bulmak her zaman mümkün olmamaktadır. Bu durumda yapılan alışmaların farklı uydu grntleriyle desteklenmesi alışmaların srdrlebilirliğinin sağlanması açısından bir gereklilik olacaktır.



# **INVESTIGATION OF OPPORTUNITY TO USE SENTINEL-3 OLCI DATA IN THE DETERMINATION OF CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION AT REGIONAL SCALE**

## **SUMMARY**

Turkey is surrounded on the south by the Mediterranean Sea, north by the Black Sea, and west by the Aegean Sea. The Sea of Marmara, which lies within the country's borders, connects the Black Sea with the Aegean Sea and the Mediterranean Sea. Monitoring these interconnected seas is important for the health of the natural environment and living creatures. As a result of research conducted through remote sensing studies, problems in the seas are identified.

The Sea of Marmara is an important inland sea for human health. Pollution of the sea will have a direct or indirect negative impact on the life of all living beings. Marine pollution is increasing due to various reasons such as domestic, commercial, industrial, natural, and agricultural. This situation causes serious damage to seawater and the marine ecosystem with the increase of organic and inorganic pollutants in the Sea of Marmara.

The main pollutants causing pollution in the Marmara Sea are the pollution carried by the Black Sea discharges from the sewage treatment plants in İstanbul, the pollution loads carried into the sea by the rivers that form the surface drainage network of İstanbul, and the pollution caused by maritime traffic and accidents at sea.

The basic parameters reflecting seawater quality are dissolved oxygen, suspended solids, total nitrogen, total phosphorus, chlorophyll-a, heavy metals (Pb, Fe, Mn), detergent measurements. The increase in total nitrogen and total phosphorus concentration causes eutrophication. The excessive proliferation of plankton and algae simultaneously damages the marine ecosystem.

The balance in the marine ecosystem is disturbed by marine pollution. One of the factors causing this pollution is the high chlorophyll-a concentration formed by mixing nutrients such as nitrogen and phosphorus into the water. As a result, marine and freshwater ecosystems are greatly damaged. The algae that multiply with the increase in the number of nutrients in the water cause eutrophication by consuming oxygen, resulting in a decrease in water quality. This situation, which is generally seen in the spring months, ends in the summer months. However, the increase in chlorophyll-a concentration has been frequent in recent years. If this situation lasts for a long time, it can cause the death of all creatures living in the water with the decrease of oxygen in the ocean.

The increase of elements such as nitrogen and phosphorus causes the proliferation of algae by disturbing the ecological balance. Dying algae from lack of oxygen as a result of overgrowth rise to the surface of the water and form a red layer. Living

organisms that continue their life with oxygen cannot survive in eutrophic conditions. The algal bloom is called a red tide. Algal blooms are seasonally common, usually in less deep coastal waters, inland seas, gulfs, lakes, and near estuaries.

Since the Marmara Sea has a large surface area, it may be affected by atmospheric deposition. There are major industrial areas in the catchment area of the Marmara Sea. Most of them discharge their effluents into this inland sea without decontamination. This leads to excessive pollution of the Marmara Sea. The Sea of Marmara is located between the Mediterranean Sea and the Black Sea and has a continuous current. Due to this current, pollutants can be transported over long distances on the sea. Pollution can occur even in areas with industrialization and low population density. The Sea of Marmara has a large volume and the hydraulic residence time of water is long in this sea. As a result, pollutants can remain in this environment for a long time. This situation over the ecosystem poses serious risks.

The Sea of Marmara is replenished by the waters of the undercurrent from the Aegean Sea. Measures should be taken to prevent the North Aegean and Dardanelles Strait from being unaffected by this pollution. In addition, it is of great importance in monitoring pollutants coming from the Black Sea with the upper stream.

Water Framework Directive According to European Union (EU), the main directive relating to water quality aims to achieve "good status" in all surface waters in Europe. To achieve this goal, member countries are supposed to establish water quality monitoring systems and they have to determine the ecological and chemical status of water bodies. According to the directive, ecological status is to be determined using the biological quality elements and the physical, chemical, and hydromorphological characteristics of the waters as supporting elements of the biological quality elements.

The hydrography of the Sea of Marmara is determined by the change over the straits. The existence and characteristics of the Sea of Marmara are related to the Black Sea which is in direct interaction with the Bosphorus. The Black Sea determines the ecological quality in the upper layer of the sea the most.

The Danube, the second largest river in Europe, flows through industrial, residential, and agricultural areas and reaches the Black Sea. It is a major factor in marine pollution in the reflection of the pollution it produces in the Black Sea to the Marmara Sea.

Recently, the mucilage problem in the Marmara Sea has caused significant damage to the marine ecosystem. The mucilage is a slimy structure formed by the combination of many biological and chemical conditions, the proliferation of algae with the increase of bacterial activities as a result of high sea temperature and stability. The excess nitrogen and phosphorus pollution in the Marmara Sea, the increase of salinity with temperature has revealed the mucilage problem.

Sentinel-3 OLCI is a medium resolution satellite that allows a wide perspective view of the earth's surface. It can be preferred for ocean observations depending on climate change. It is advantageous in terms of detailed measurement of atmosphere composition, with 6 additional bands developed compared to MERIS, designed to provide data continuity with Envisat's MERIS sensor.

Sentinel-3 OLCI is a satellite that records information about the ocean's topography, temperature, color, and earth. It is also used for environmental and climate monitoring studies. It has two identical satellites, Sentinel-3A and Sentinel-3B.

As part of the thesis, the pollution of the Sea of Marmara was investigated with Sentinel-3 OLCI data. The data were divided into 9 classes according to the water quality classes determined in the Surface Water Quality Regulation. Supervised classification was made using a support vector machine (SVM), a machine learning algorithm. The support vector machine is an algorithm designed for the classification of two-class linear data or multi-class nonlinear data.

In the satellite images of the 2020 year were observed that highest in spring and lowest in autumn of the chlorophyll-a density according to the seasons. The increase of algae blooms in spring also supports this situation. Additionally, marine pollution has increased with the reflection to the Sea of Marmara of the pollution caused by the Danube River in the Black Sea.

When the data for the spring season of the 2021 year are examined, an increase in the algae population in the Marmara Sea has been observed compared to the spring season of the 2020 year. Therefore mucilage caused a major problem in the Sea of Marmara. In order to control the mucilage problem, the Marmara Sea and the Western Black Sea should be monitored regularly.

Studies with Sentinel-3 OLCI data may be a good option to follow the seasonal changes in chlorophyll-a concentration throughout the year. Apart from that, it is not always possible to find data for the past years for OLCI. In this case, it would be good to support the studies with different satellite images.



## 1.GİRİŞ

Deniz ekosistemi dünya üzerindeki en büyük ekosistemi oluşturmaktadır. Dünyanın yaklaşık %71'ini kapsar. Dünyada su varlığının yaklaşık olarak %80'i de okyanus ve denizlerden oluşur (Url-1).

11.350 km<sup>2</sup> yüz ölçümüne sahip olan Marmara Türkiye'deki en küçük denizdir. Marmara Denizi İstanbul Boğazı ile Karadeniz'e bağlanır (Url-2).

Marmara Denizi İstanbul Boğazı üzerinden taşınan Karadeniz kaynaklı kirleticiler ile birlikte sanayileşme, tarımsal faaliyet ve yüksek insan nüfusuyla belirgin bir kirlilik tehdidi altındadır (Balcı ve Balkış, 2016).

Bu kirliliğin sebeplerinden biri de su alanlarındaki alg yoğunluğunun artmasıdır. Su alanlarındaki alglerin artması su kalitesini düşürür. Su kalitesinin azalması insan da dahil olmak üzere sudaki canlıların habitatını da olumsuz etkileyecektir.

Su kalitesi suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin göstergesi olarak tanımlanır. Su kalitesi standartlarının belirlenmesi için suyun kullanım amacı (içme suyu, tarım sanayi, enerji vb.) ve su sınıfları (nehir, göl, kıyı-geçiş suları ve yer altı suları) esas alınmaktadır. Bütün su kaynaklarının iyi duruma ulaşabilmesi için genel su kalitesi standartları belirlenebilmektedir. Su kalitesi yönetimi için risk değerlendirmesi su kaynaklarındaki kirleticilerin insan sağlığı ve su ekosistemi üzerindeki olası etkilerini ve etkileme riskinin analiz edilerek derecelendirilmesiyle olumsuz durumların önlenmesi amacıyla gereken tedbirleri kapsamaktadır. AB Su Çerçeve Direktifine uyum çalışmaları kapsamında ülkemizde su kalitesi yönetimi açısından risk değerlendirmesi çalışmaları yaygınlaşmıştır. Bu kapsamda risk değerlendirmesi kirleticilerin tespit edilmesini ve gerekli önlemlerin alınmasını içerir (Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, 2019).

Yerüstü su kütlelerinin kalite durumu Çizelge 1.1'e göre belirli sınıflara ayrılmıştır:

**Çizelge 1.1** : Su kalite sınıfı ve renk kodları (YSKY, Url-3).

<b>Su Kalitesi</b>	<b>Renk</b>
Sınıf I (Çok yoğun)	Koyu Kırmızı
Sınıf II (Çok yoğun)	Kırmızı
Sınıf III (Çok yoğun)	Turuncu
Sınıf IV (Yoğun)	Sarı
Sınıf V (Yoğun)	Açık Yeşil
Sınıf VI (Yoğun)	Yeşil
Sınıf VII (Az yoğun)	Açık Mavi
Sınıf VIII (Az yoğun)	Mavi
Sınıf IX (Az yoğun)	Koyu Mavi

**Sınıf (VII, VIII, IX)** - Yüksek kaliteli su ("Çok İyi" su durumunu ifade etmektedir.).

**Sınıf (V, VI)** - Az kirlenmiş su ("İyi" su durumunu ifade etmektedir.).

**Sınıf IV** - Kirlenmiş su ("Orta" su durumunu ifade etmektedir.).

**Sınıf (I, II, III)** - Çok kirlenmiş su ("Zayıf" su durumunu ifade etmektedir.).

Alg toplulukları, yıllar boyunca mevsimlere bağlı olarak değişiklikler gösterir ve çevresel koşullardaki değişiklikler, tür bileşiminde yüksek çeşitliliğe neden olur. Belirli bir deniz habitatında aşırı alg büyümesi su sıcaklığı ve besin maddesinin varlığı gibi çevresel faktörlerdeki değişikliklerle ilişkili olarak alg patlaması (alg popülasyonunda hızlı artış) mevsimsel olarak gözlemlenir. Bu aşırı alg büyümesi sürekli akıntı ile çevresel koşulların bir sonucu olarak kırmızı gelgitler veya zararlı alg çiçekleri olarak adlandırılır (Balcı ve Balkıs, 2016).

### **1.1 Tezin Amacı**

Bu tezin amacı, bölgesel ölçekte Batı Karadeniz ve Marmara Denizi'nde deniz kirlenme unsurlarının göstergesi olan klorofil-a tespitini ve mevsimsel dağılımını Sentinel-3 OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) uydu görüntü verileri

kullanılarak ortaya koymaktır. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde belirlenen su kalite sınıflarına göre SVM (Support Vector Machine) yöntemiyle sınıflandırılan uydu görüntü verilerinde, Avrupa'nın en büyük ikinci nehri olan Tuna Nehri'nin getirdiği kirliliğin Batı Karadeniz'de yarattığı kirletici unsurlar ve Marmara Denizi'ne yansıyan etkileri incelenmiştir.

## **1.2 Literatür Araştırması**

### **1.2.1 Klorofil**

Klorofil pigmentleri fotosentezde temel görev alan yeşil renkli pigmentlerdir. 1966'da Allen tarafından 8 farklı türü bulunmuştur. Bunlardan biri olan klorofil-a alglerde bulunur ve onların fotosentez yapmalarına fırsat veren bir klorofil çeşididir (Url-4). Klorofil-a'nın uzaktan algılanması çeşitli uydu platformlarında alg biyokütlesi için iyi bir temsilcidir. Alg patlamalarının ve genel olarak su kalitesinin tespiti ve izlenmesinde güçlü bir araçtır. Zararlı alg çoğalmaları potansiyel olarak hem insan hem de hayvan sağlığı için toksik ve mevcut tehlikelere sebep olur (Çetin, 2014).

Klorofil su kalitesini ölçmek için temel göstergelerden biridir. Klorofil konsantrasyonundaki varyasyon su kütlelerindeki alg yoğunluğunun derecesini temsil eder. Yüksek klorofil derecesi sudaki kalitesizlikle ilişkili olup yoğun alg konsantrasyonu anlamına gelir.

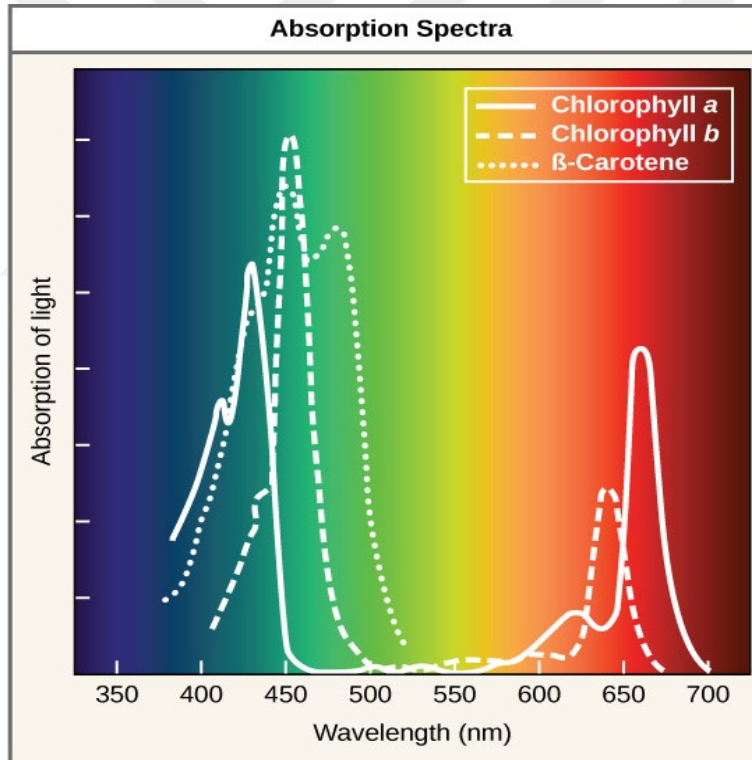
Uzaktan algılama, su kalitesini ayrıntılı olarak izlemek için kullanılır. Yoğunlukla görünür ve yakın kızıl ötesi (NIR (Near Infrared Radiation)) dalga bantlarını kullanan algoritmalar su kalitesine ilişkin faktörlerin çeşitliliği ve yüzey yansımaları (SR (Surface Radiation)) arasındaki korelasyonu oluşturmaya olanak sağlar. Çeşitli algoritmalarla büyük su kütlelerindeki klorofil konsantrasyonunu (örneğin: büyük göl veya okyanus ) farklı dalga bantlarını birleşik kullanarak SPOT, Landsat 5 ve 6, MODIS ve diğer uzaktan algılama veri kaynaklarıyla temin edilebilir (Zhou, 2020).

Klorofil-a varlığı sularda silikat ve fosfor gibi besinlerin bulunduğu anlamına gelir. Bu nedenle klorofil-a su kalitesi izlemek için yaygın olarak kullanılır. Çünkü çok fazla konsantrasyonu zararlı algelere yol açacaktır. Alg patlaması birçok etkiye sahiptir. Yaygın olarak sudaki oksijenin büyük bir miktarı emilerek diğer su yaşamı yok olacaktır. Klorofil-a takibinin önemi nedeniyle sularda uzaktan algılama çalışmaları dahil birçok araştırma yapılmıştır. Klorofil-a sadece belirli bir dalga

boyunu emen pigmentin bir türüdür. Şekil 1.1 klorofil-a'nın absorpsiyon spektrumlarını gösterir. En çok mavi ve kırmızı ışığı emer ve yeşili yansır (Conopio ve diğ, 2019).

Klorofil-a deniz ortamının ekolojik durumunu değerlendirmek için kullanılan önemli bir faktördür. Yaşam için güneş ışığından enerji alarak oksijen üretir. Klorofil seviyelerini takip etmek alg büyümesini izlemeye olanak sağlar. Klorofil seviyesinin yoğun olduğu yerler çoğunlukla yüzey sularındaki besin maddeleridir. Besin maddeleri yosunların büyümesini sağlar.

Işık enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürülmesinde klorofil-a doğrudan görev alır. Bu sebeple en önemli pigmenttir. Klorofil-b soğurduğu güneş enerjisini klorofil-a'ya aktararak fotosenteze yardımcı olur. Klorofil-a tüm yeşil bitkilerde, klorofil-b bazı yeşil bitkilerde ve bazı alglerde bulunur. (Url-5)



Şekil 1.1 : Klorofilin absorpsiyon spektrumları.

Klorofildeki pigmentlerin emilim spektrumları fotosentezin devamı için farklı dalga boylarının oransal etkisi hakkında bilgi verir.

Şekil 1.1' deki absorpsiyon spektrumuna göre mavi ve kırmızı ışığın fotosentezde en etkili, yeşil ışığın ise etkisinin en az olduğu gözlemlenir.

### 1.2.2 Yerüstü deniz su kütlelerinin trofik seviyeleri

Karadeniz için ötrofikasyon kriterleri Çizelge 1.2, Marmara için ötrofikasyon kriterleri ise Çizelge 1.3'de görüldüğü gibidir.

**Çizelge 1.2 :** Karadeniz kıyı suları ötrofikasyon kriterleri (YSKY, Url-3).

Su Kalitesi Sınıfı	TP (µg/L)	NO2 (µg/L)	Klorofil-a (µg/L)	Secchi Disk Derinliği (m)
Oligotrofik (Sınıf VII,VIII,IX)	<8	<14	<1	>7
Mezotrofik (Sınıf V,VI)	12	20	1	5
Ötrofik (Sınıf IV)	16	34	3	3
Hipertrofik (Sınıf I,II,III)	>16	>34	>3	<3

**Çizelge 1.3 :** Marmara kıyı suları ötrofikasyon kriterleri (YSKY, Url-3).

Su Kalitesi Sınıfı	TP (µg/L)	NO2 (µg/L)	Klorofil-a (µg/L) İlkbahar	Klorofil-a (µg/L) Sonbahar	Secchi Disk Derinliği (m)
Oligotrofik (Sınıf VII,VIII,IX)	<14	<14	<3	<1	>6
Mezotrofik (Sınıf V,VI)	21	20	4,3	2	4,5
Ötrofik (Sınıf IV)	30	34	6	4	3
Hipertrofik (Sınıf I,II,III)	>30	>34	>6	>4	<3

### 1.2.3 Deniz kirliliği

Ülkemizdeki denizler yoğun kentleşme, endüstriyel faaliyetler, turizm faaliyetleri, deniz taşımacılığı ve kimyasal, tarımsal, evsel atıklar gibi nedenlerle kirlenmeye maruz kalmaktadır. Kirlenmenin kontrol altına alınması ve gerekli tedbirlerin oluşturulması amacıyla denizlerin izlenmesi gerekmektedir.

Deniz kirliliğine karşı atılması gereken adımların, politika ve stratejilerin belirlenmesi için 1970'li yıllardan başlayarak öncelikle denize kıyısı olan ülkeler ortak araştırma programları geliştirmiş ve sözleşmeler imzalamıştır. Akdeniz ülkeleri için ilk ortak girişim kirliliğin azaltılmasına yönelik Barcelona sözleşmesinin imzalanması olmuş ve Akdeniz'de Kirliliğin İzlenmesi (MEDPOL) Uluslararası

Programının uygulanması kabul edilmiştir. Benzer çalışmalar Karadeniz'e komşu ülkelerde de geliştirilmiş, bu kapsamda Karadeniz Bütünleşik İzleme ve Değerlendirme Programı (BSIMAP) oluşturulmuştur (Url-6).

Artan karasal kaynaklı kirleticilerin neden olduğu ötrofikasyonla Karadeniz ve Marmara'da geri dönüşü olmayan yeni ekolojik özellikler oluşmuştur. Kıyı ve deniz çalışmalarının entegre bir şekilde devam edebilmesi için 2000'li yıllarda AB Su Çerçeve Direktifi (SÇD) ve AB Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (DSÇD) ile bütüncül izleme yaklaşımı getirilmiştir (Url-6).

Ülkemizde 2011 yılından itibaren deniz izleme çalışmaları 'Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Çalışması' adı altında yürütülmektedir (Url-6).

Deniz kirliliği birçok nedene bağlı olarak artış gösterebilir. Son aylarda Marmara'da görülen müsilaj (deniz salyası) deniz yaşamını, balıkçılık ve turizmi olumsuz etkilemiştir. Müsilaj hemen hemen tüm bitkiler ve bazı organizmalar tarafından üretilen kalın yapışkan bir maddedir (Url-7).

Marmara Denizi'nde sıcaklığın ortalamasının üzerinde olması, denizin durağan olması, endüstri atıklarının denize bırakılmasıyla azot fosfor yükü denilen besin elementlerinin ve besin tuzlarının miktarının yükselmesi deniz yüzeyinde ötrofikasyona (alglerin aşırı derecede çoğalması) neden olur. Bunun sonucu olarak azot ve fosforu tüketmek için salgılar salgınır. Bakteriler için uygun olan bu ortamda kümelenmeyle müsilaj oluşumu gerçekleşir.

Marmara Denizi'nin kirlenmesine neden olan başka bir durum ise Karadeniz akıntılarıdır. Karadeniz'de akıntılar saat yönünün tersine işlediği için kirlenme kıyıları da etkilemektedir. Bu kirlilik, Karadeniz ve boğazlar yoluyla Marmara Denizi'ne taşınır. Boğaz üst akıntısı ile Tuna Nehri'nin getirdiği kirli sular ile kirlenen Karadeniz suları Marmara Denizi'ne karışmaktadır. Karadeniz'den gelen bu kirlilik Marmara için büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Marmara Denizi Kirlilik Raporu, 2013).

## 2. SENTİNEL-3 OLCI TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Sentinel-3 OLCI, ENVISAT'ın MERIS'ine veri sürekliliği sağlamak için kullanılan, deniz-yüzey topoğrafyası, okyanus rengi, deniz ve yeryüzünün yüzey sıcaklığı gibi yeryüzünün incelenmesi için çoklu göreve sahip optik bir araçtır (Url-8). 21 spektral bantta 300 m'lik bir mekansal çözünürlükte dünya tarafından yansıtılan güneş radyasyonunu kaydeden, bağımsız, gidiş yönüne dik bir tarama yapan görüntüleme spektrometresidir.

Uzaydan okyanus renginin uzaktan algılanması, 1978'de NASA'nın Kıyı Bölgesi Renkli Tarayıcısı'nın (CZCS (Coastal Zone Color Scanner)) piyasaya sürülmesiyle başladı (Uluslararası Okyanus Rengi Koordinasyon Grubu (IOCCG (International Ocean Color Coordinating Group)), Url-9).

Uluslararası Okyanus Rengi Koordinasyon Grubu (IOCCG), çeşitli görevler ve araçlarla ilgili bilgileri koordine eder. Sentinel-3 OLCI algılayıcısı, ENVISAT MERIS'in optik ve görüntüleme tasarımına dayanmaktadır. Sentinel-3 OLCI algılayıcısı MERIS algılayıcısı ile karşılaştırıldığında aşağıdaki önemli gelişmeleri içerir:

- Spektral bant sayısı 15'ten 21'e artmıştır (Şekil 2.1).
- Sinyal-gürültü oranı (SNR (Signal to Noise Ratio)) ve 14 bit analogtan dijitale dönüştürücü geliştirilmiştir.
- Radyometrik kararlılık geliştirilmiştir.
- Kameralar batı yönünde eğilerek güneş ışığından kaynaklanan parlaklık azaltılmıştır.
- 300 m tam mekansal çözünürlükte hem kara hem de okyanus üzerinde tam kapsama alanı sağlanmıştır.
- Kaçak ışık, kamera örtüşmesi ve kamera difüzörleri dahil OLCI algılayıcısının karakterizasyonu geliştirilmiştir.
- MERIS'de yaklaşık 15 gün takip edilebilen okyanus ve karanın kapsama alanı düzenlenmiştir.

- Seviye-1B ve seviye-2 ürünleri için 3 saatlik veri teslim süresi geliştirilmiştir.
- OLCI ve SLSTR'nin (Deniz ve Kara Yüzey Sıcaklığı Radyometresi (Sea and Land Surface Temperature Radiometer)) birlikte kullanımını kolaylaştıran eşzamanlı sonuçlar ve SLSTR algılayıcı alanı ile %100 örtüşme sağlanmıştır.

OLCI bantları, açık okyanus ve kıyı bölgelerinde okyanus rengini incelemek için optimize edilmiştir. Atmosferik ve aerosol düzeltme kabiliyetini geliştirmek için 1.02 nm'de yeni bir A kanal dahil edilmiştir. O<sub>2</sub>A emilim hattındaki iki ek kanal (761.25 nm'de mevcut kanala ek olarak 764.4 ve 767.5 nm), su buharı alımını düzeltmek için H<sub>2</sub>O emilim bölgesinde 940 nm'deki ek bir kanal ile geliştirilmiş, bulut üstü basıncı için dahil edilmiştir. A kanalı gelişmiş klorofil floresan ölçümü (Tohumdaki klorofil-a miktarının ölçümünün tohuma zarar vermeden yapılması işlemidir.) için 673 nm'de eklenmiştir.

Sentinel-3 OLCI, gidiş yönüne dikey tarama yöntemini kullanarak dünya yüzeyini tarar. CCD (yük bağlaşımlı aygıt (Charge Coupled Device)) dizileri, yol boyu mekansal örnekleme sağlarken, uydunun hareketi yol boyunca tarama sağlar. OLCI şeridi MERIS tasarımında olduğu gibi en alt noktaya ortalanmamıştır. Ancak tüm görüş alanı, güneş parıltısının etkisini en aza indirmek için güneşten 12.6° uzağa kaydırılmıştır. OLCI etrafındaki 68.5° görüş alanı, Sentinel-3 yörüngesinden 8145 km yükseklikte 1270 km'lik bir şerit genişliğini kapsar. Bu geniş görüş alanı, bir fan konfigürasyonunda düzenlenmiş beş özdeş optik modül arasında paylaşılır. Dünya, en düşük 300 m'lik bir mekansal çözünürlükle görüntülenir.

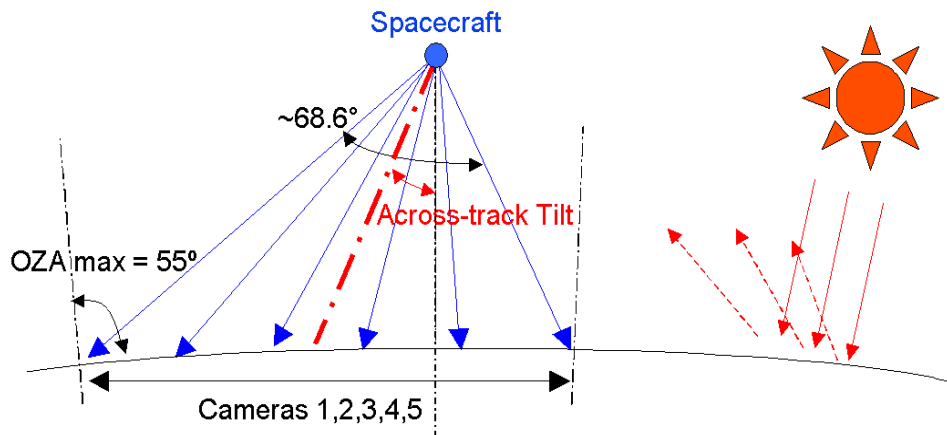
OLCI, 400 nm ile 1020 nm'lik güneşi yansıtan spektral aralıkta çalışan programlanabilir orta spektral çözünürlüklü bir görüntüleme spektrometresidir.

Alan CCD dizisi üzerine bir dağılma sistemi aracılığıyla tüm spektral aralık boyunca eş zamanlı olarak görüntülenir. CCD'den gelen sinyaller gerekli görüntü kalitesini elde etmek için birkaç işleme adımından geçer. Bu CCD işleme adımları, gerekli bant genişliğini elde etmek için istenmeyen bantlardan spektral bilgilerin çıkarılmasını ve spektral entegrasyonu içerir. OLCI algılayıcısına monteli analog elektronikler, dijitalizasyondan önce sinyalin ön güçlendirmesini, çift örneklemeyi ve güç ayarlamasını gerçekleştirir. Araca monteli dijital elektronik sistemin iki ana işlevi vardır: Spektral entegrasyonu tamamlar ve tam işleme modunda dengeleme ve kazanç düzeltmelerini sağlar.

Band #	$\lambda$ center	Width	Lmin	Lref	Lsat	SNR@Lref
	nm	nm	W/(m <sup>2</sup> .sr.μm)	W/(m <sup>2</sup> .sr.μm)	W/(m <sup>2</sup> .sr.μm)	
Oa1	400	15	21.60	62.95	413.5	2188
Oa2	412.5	10	25.93	74.14	501.3	2061
Oa3	442.5	10	23.96	65.61	466.1	1811
Oa4	490	10	19.78	51.21	483.3	1541
Oa5	510	10	17.45	44.39	449.6	1488
Oa6	560	10	12.73	31.49	524.5	1280
Oa7	620	10	8.86	21.14	397.9	997
Oa8	665	10	7.12	16.38	364.9	883
Oa9	673.75	7.5	6.87	15.70	443.1	707
Oa10	681.25	7.5	6.65	15.11	350.3	745
Oa11	708.75	10	5.66	12.73	332.4	785
Oa12	753.75	7.5	4.70	10.33	377.7	605
Oa13	761.25	2.5	2.53	6.09	369.5	232
Oa14	764.375	3.75	3.00	7.13	373.4	305
Oa15	767.5	2.5	3.27	7.58	250.0	330
Oa16	778.75	15	4.22	9.18	277.5	812
Oa17	865	20	2.88	6.17	229.5	666
Oa18	885	10	2.80	6.00	281.0	395
Oa19	900	10	2.05	4.73	237.6	308
Oa20	940	20	0.94	2.39	171.7	203
Oa21	1020	40	1.81	3.86	163.7	152

**Şekil 2.1 :** OLCI belirleme bantları (Turkuaz bantlar Envisat'ın MERIS sensöründen aktarılanlar, sarı ek bantlardır.) (ESA, Url-10).

OLCI, Şekil 2.2'de görüldüğü gibi görüş alanını paylaşan beş kamera modülüne sahip bir algılayıcıdır. Beş kameranın görüş alanı dikey düzlemde platform hızına dik fan şeklinde bir konfigürasyonda düzenlenmiştir (Şekil 2.3). Her kamera, 14.2°'lik ayrı bir görüş alanına ve komşularıyla 0.6°'lik bir örtüşmeye sahiptir.



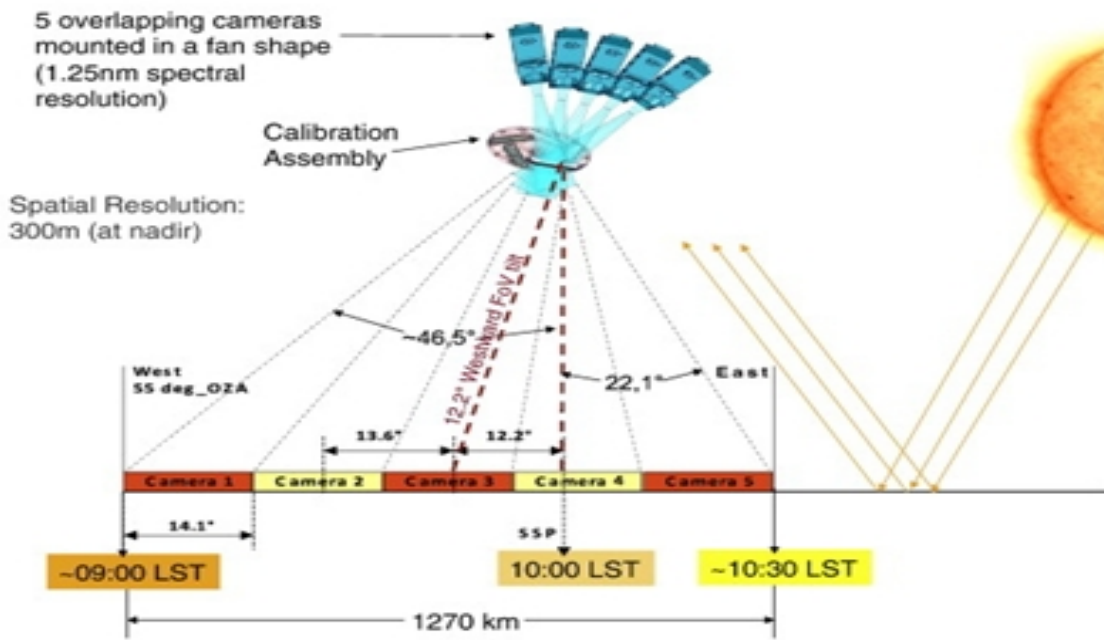
**Şekil 2.2 :** OLCI görüş alanının şematik görünümü (ESA, Url-10).

Yaklaşık 300 m'lik bu gerçek çözünürlük, tam çözünürlüklü (FR (Full Resolution)) ürünün ürün gridini hesaplamak için kullanılır. Düşürülmüş çözünürlük (RR (Reduced Resolution)) işleme modu yaklaşık 1.2 km çözünürlükle sonuçlanan her iki mekansal boyutta da örnekleme oranları dört kat düşürülmüş seviye-1B verileri sağlar.

OLCI güneş difüzörlerine bağlı olarak araca monteli kalibrasyon donanımı ile donatılmıştır. Üç adet güneş difüzörü vardır: Bunlar radyometrik kalibrasyona ayrılmış iki beyaz difüzör ve bir de spektral yansıtma özelliklerine sahip spektral kalibrasyona ayrılmış difüzördür.

Sanal yörünge için uydu alt noktasında, OLCI algılayıcısının tam mekansal çözünürlüğü (FR) yaklaşık 300 m'dir.

Sentinel-3 OLCI algılayıcısı SLSTR algılayıcı şeridi ile %100 örtüşür.



Şekil 2.3 : OLCI'nin temel geometrisi (ESA, Url-10).

## 2.1 Sentinel-3 OLCI Özellikleri

Sentinel-3 OLCI algılayıcısının teknik özellikleri Çizelge 2.1'de görülmektedir.

**Çizelge 2.1 : SENTINEL-3 OLCI algılayıcısının teknik özellikleri.**

Alan	1440 km <sup>2</sup>
Uydu altı noktasında (Sub-Satellite Point, SSP) mekansal örnekleme aralığı ( Spatial Sampling Interval, SSI)	300 m
Kalibrasyon	Erbiyum katkılı difüzör levhası kullanılarak spektral kalibrasyon ile MERIS tipi kalibrasyon düzenlenmesi, güney kutbu eliptiğinde PTFE (Politetrafloroetilen) difüzör levhası ve karanlık akım levhası yaklaşık olarak her iki haftada bir izlenir. Kalibrasyon bozulmasının görüntülenmesi için periyodik olarak yedek difüzör levhası incelenir.
Dedektörler	ENVISAT MERIS'ten aktarılan arkadan aydınlatmalı CCD55-20 çerçeve aktarımlı görüntüleme cihazına sahiptir.
Optik tarama tasarımı	Gidiş yönüne dikey tarama sensörü vardır. MERIS'ten gelen beş kamera devirli, analogtan dijitale dönüşüm için beş video elde etme modülünü destekleyen karıştırma penceresi montajına (scrambling window assembly) ayrılmıştır.
Spektral çözünürlük	1.25 nm (MERIS'ten aktarılan), 21 bant.
Radyometrik doğruluk	400-900 nm dalga bandı için güneşe referansla %2'den küçük ve 900 nm'den büyük dalga bantları için güneşe referansla %5'ten büyüktür. Her yörünge üzerinde radyometrik doğruluk için %0.1 kararlılık ve kalibrasyon difüzörü BRDF için %0.5 bağıl doğruluk vardır.
Radyometrik çözünürlük	< 0.03 W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup>
Kütle	153 kg
Boyut	1.3 m <sup>3</sup>
Tasarım ömrü	7.5 yıl

## 2.2 Çözünürlükler

OLCI algılayıcısı, dünya yüzeyinden ve bulutlardan yansıyan güneş radyasyonunu aynı anda 21 spektral bantta kaydeder. OLCI bant özellikleri Çizelge 2.2'de detaylı olarak verilmiştir.

OLCI verisi kara ve okyanus üzerinde tam çözünürlükte elde edilir. Ancak seviye-1B işleme tam veya düşürülmüş çözünürlükte ya da her ikisinde ürün oluşturabilir. Seviye-2 işleme tam veya düşürülmüş çözünürlüğün seviye-1B ürünlerini alır ve aynı çözünürlükte seviye-2 ürünleri oluşturur.

### 2.2.1 Mekansal (uzaysal) çözünürlük

#### Tam Çözünürlük (Full Resolution, FR)

OLCI işlemlerini basitleştirmek, algılayıcı özerkliğini en üst düzeye çıkarmak ve veri işleme ve yeniden analiz edip maksimum esneklik sunmak için OLCI her zaman FR modunda çalışır.

Sembolik yörünge için uydu altı noktasında, OLCI tam çözünürlük mekansal olarak yaklaşık 300 m'dir.

#### Düşürülmüş/Azaltılmış Çözünürlük (Reduced Resolution,RR)

Seviye-1B'den OLCI ürünleri RR olarak adlandırılan alt örneklenmiş bir versiyonda sağlanır.

RR, 16 FR piksellik bir gridin sinyalinin ortalaması alınarak elde edilir.

Sembolik yörünge için uydu altı noktasında, OLCI düşürülmüş çözünürlük mekansal olarak yaklaşık 1.2 km'dir.

### 2.2.2 Radyometrik çözünürlük

OLCI gözlemi aşağıdaki tabloda listelenen 21 spektral bantta görünür ışıınımdan yakın kızıl ötesi ışıınımdan arasında eşzamanlı olarak gerçekleştirilir (400nm-1020nm). Bu bantların her biri konum ve genişlik açısından programlanabilir.

**Çizelge 2.2 : OLCI bant özellikleri.**

Bant Numarası	$\lambda$ (nm) (Ortalama)	Spektral Genişlik (nm)	Fonksiyon
Oa01	400	15	Aeorosol düzeltmesi, düzeltilmiş su bileşeninin geri kazanımı
Oa02	412.5	10	Sarı cisim ve kırıntılı pigmentler (bulanıklık)
Oa03	442.5	10	Maksimum klorofil emilimi, biyojeokimya, bitki örtüsü
Oa04	490	10	Yüksek klorofil
Oa05	510	10	Klorofil, tortu, bulanıklık, kızıl gelgit
Oa06	560	10	Klorofil referansı (minimum)
Oa07	620	10	Tortu yükleme
Oa08	665	10	Klorofil tortusu, sarı cisim/bitki örtüsü
Oa09	673.75	7.5	Düzeltilmiş ışınımın geri kazanımı ve daha iyisi için 665 nm ve 680 nm bantlarıyla birlikte dalga boyunu daha iyi açıklar.
Oa10	681.25	7.5	Klorofil ışınımının tepe noktası, kırmızı kenar
Oa11	708.75	10	Klorofil ışınımının taban çizgisi, kırmızı kenar geçişi
Oa12	753.75	7.5	O <sub>2</sub> emilimi/bulutlar, bitki örtüsü
Oa13	761.25	2.5	O <sub>2</sub> emilim bandı/aerosol düzeltmesi
Oa14	764.375	3.75	Atmosferik düzeltme
Oa15	767.5	2.5	O <sub>2</sub> A kara üzerindeki ışınımın bulut üstü basıncı için kullanılır.
Oa16	778.75	15	Atmosferik düzeltme/aerosol düzeltme
Oa17	865	20	Atmosferik düzeltme/aerosol düzeltmesi, bulutlar, pikseli görüntülerle bağdaştırma
Oa18	885	10	Su buharı emilimi referans bandı SLSTR algılayıcısı ile ortak referans bandı Bitki örtüsü izleme
Oa19	900	10	Su buharı emilimi/bitki örtüsü izleme (maksimum yansıtma)
Oa20	940	20	Su buharı emilimi, atmosferik düzeltme/aerosol düzeltmesi
Oa21	1020	40	Atmosferik düzeltme/aerosol düzeltmesi

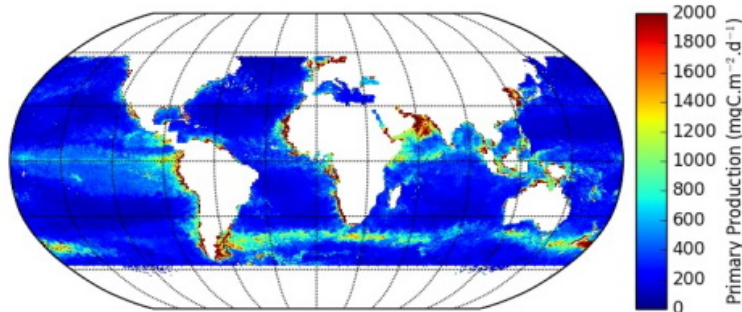
## 2.3 Uygulama Alanları ve Yapılan Çalışmalar

### 2.3.1 Deniz izleme

Okyanus renginin uzaydan gözlemlenmesi, denize ait biyolojik bileşenler hakkında bilgi toplanmasını sağlar. Bu gözlem özellikle trofik zincirin ilk elementini oluşturan alg biyokütlesine sahip popülasyondan, kırıntılı maddenin birleşiminden ve suda bulunan elementlerden etkilenen su rengi ile ilişkilidir. Kıyı ve sığ sular için, askıda tortu ve organik madde yüklü karasal suların serbest bırakılmasıyla birlikte dalga hareketlerinden dolayı yeniden askıya alınması bunların bir sonucudur. Başlangıçta deniz biyolojisi ve karbon döngüsü üzerine araştırma çalışmaları için tasarlanan bu gözlem tekniği, deniz alanı yönetimi ve kıyı bölgesi yönetimine yönelik bir dizi uygulama ortaya çıkarmıştır.

Küresel ölçekli klorofil-a haritaları için deniz ile ilgili önemli ve eşsiz uygulamalardan biri, küresel olarak okyanus birincil üretimini (Deniz birincil üretimi atmosferik veya çözülmüş karbondioksitten organik bileşiklerin okyanusunda kimyasal sentezidir. (Url-11)) hesaplamaktır. Yıllık net birincil üretimin (NPP (Net Primary Production)) bölgesel ve küresel ölçekte tahminlerini hesaplamak için algoritmaların kullanılması, okyanus ekosistemlerinin ve biyojeokimyasal süreçlerin işlevi hakkında önemli bilgiler sağlar. 2019 yılının şubat ayı için net birincil üretim haritası Şekil 2.4'te görülmektedir.

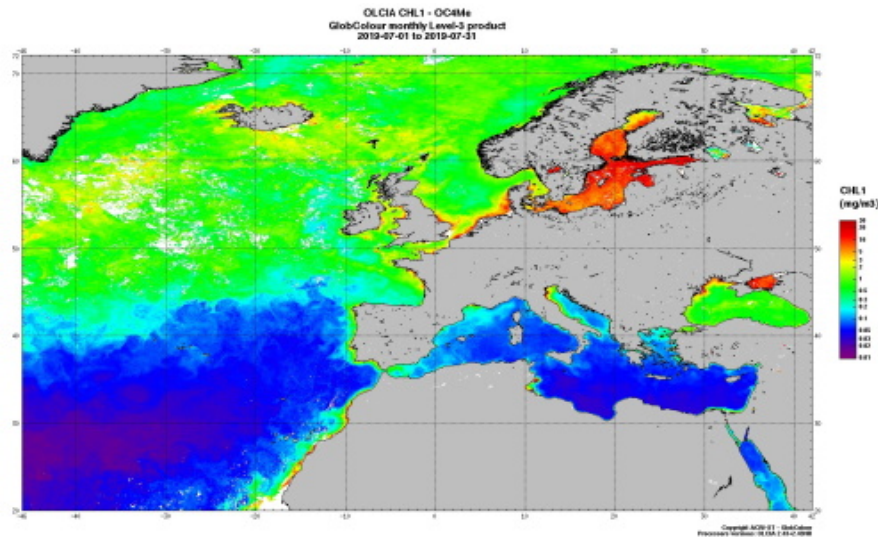
1998'den sonra Uluslararası Okyanus Rengi Koordinasyon Grubu çalışmalarının devamlılığının bir sonucu olarak, NPP küresel ölçekte izlenmektedir. Bu nedenle, okyanustaki karbon yutağının temel işlevi düzenli olarak tahmin edilmektedir.



**Şekil 2.4 :** mgC.m-2.d-1 cinsinden şubat 2019 için net birincil üretim haritası (ESA, Url-10).

Alg patlamalarının tespiti, birçok yoğun araştırma çalışmalarının konusu olmuştur. Bu çalışmaların sonuçları, bazı istilacı mikro algler için uyarıları başlatmaya hazır bir duruma getirilmiştir. GMES (Global Monitoring for Environment and Security (Çevre ve Güvenlik için Küresel İzleme)) hizmet unsuru çerçevesinde işlevsel hizmetler oluşturulmuş ve halen faaliyettedir. Alg tipi, tespit edilen türlerin zararlılığı, alg patlamasının gücü, yayılımı ve büyüklüğü belirlenebilmektedir.

Okyanus rengi okyanus yüzeyinde kıyı ve girdapların mekansal olarak yeniden bölünmesini sağlar. Yüzey desenlerinin tespiti ve tanımlanması, belirli bir dalga boyunda mevcut sudan ayrılan yansımalarından biri kullanılarak veya bunların bir kombinasyonu ile gerçekleştirilebilir. Amaca bağlı olarak, su berraklığı gibi yüksek seviyeli ürünlerle de yapılabilir ve okyanus üst katmanı boyunca entegre bir dikey görüş tahmini verir. Orta ölçekli sirkülasyon analizine veya biyolojik üretkenliğe yönelik olduğunda, bu analizler genellikle deniz yüzey sıcaklığı (Sea Surface Temperature (SST)) ve deniz yüzeyi yüksekliği (Sea Surface Height (SSH)) gibi diğer yer gözlem ölçümlerini ilişkilendirerek gerçekleştirilir. Bu durumda deniz habitatları, bu üç bileşenin (Chl-a, SST, SSH) bir fonksiyonu olarak bazı türler için analiz edilmiştir ve balık avlarını optimize etmek veya önlemek için NRT'de (Near Real Time (uydu ile ölçümden 3 saatten az bir süre sonra)) göstergeler sağlanabilir. Hala deneysel olmasına rağmen, balık stokları ve evrimleri daha sonra verimli bölgelerde değerlendirilebilir.



**Şekil 2.5** : OLCI-A'dan GlobColour aylık klorofil ürünü (Temmuz 2019 - kırmızıda 30 mg /m<sup>3</sup> yüksek konsantrasyondan mor renkte 0.01 mg'a kadar) (ESA, Url-10).

Üç boyutlu deniz biyolojisi yüzey gözlemiyle sınırlı olmasına rağmen, istatistikselden sayısal olana kadar çeşitli teknikler, bu bilginin daha büyük derinliklere genişlemesine izin verir ve biyolojik alanın daha iyi bir üç boyutlu tanımını sağlar. Bu genişlemenin yanı sıra alg boyut sınıfı ve türleri, güçlü algoritmalarla okyanus renginden de belirlenebilir. 2019 yılının temmuz ayı için klorofil dağılımı Şekil 2.5'teki gibidir.

Güvenilir atmosferik düzeltme sağlayan okyanus rengi, tortulu bulutların coğrafi kapsamına ve bileşimine erişim sağlayarak sel büyümesinin ve denizdeki etkisinin izlenmesine olanak tanır. Bu aynı zamanda denizdeki karasal maddenin değişikliğini belirlemek, uzay ve zamandaki dalgalanmalarını izlemek için bir araç sağlar. Özellikle büyük haliçlerin incelenmesi için faydalıdır.

### **2.3.2 Yeryüzü izleme**

Arazi kullanımı ve örtüsünün (Land Use and Land Cover (LULC)) haritalanması ve izlenmesi, Avrupa' da öncelikli bir araştırma alanı olarak tanımlanmaktadır. Tarımsal ve çevresel uygulamalar LULC hakkında güvenilir ve güncel bilgiye ihtiyaç duyar.

Kara yüzeyi albedosu, kara yüzeyi tarafından yansıtıp gelen ışığın oranıdır. Bu bilgi, küresel iklim modelinin başlatılması ve doğrulanması için tüm dünya kara yüzeyi için gereklidir.

OLCI'nin spektral tanımı, bitki örtüsünün üç parametreyle tanımlanmasına olanak sağlar: FAPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation), LAI (Leaf Area Index) ve OTCI (OLCI Terrestrial Chlorophyll Index (OLCI Karasal Klorofil İndeksi)). Yaprak alan indeksi (LAI) konusunda ve sel suyu miktarına benzer şekilde, bu parametre bir temel ürün değildir, ancak düzeltilmiş yansımalarından türetilmiş olabilir. Diğer iki ürün, Küresel İklim Gözlem Sistemi (Global Climate Observing System (GCOS)) tarafından belirlenen ve özellikle iklim değişimi çalışmaları ve trend analizi için ilgili göstergeler olarak izlenen temel iklim değişkenleri (Essential Climate Variables (ECV)) olarak tanımlanır.

#### **2.3.2.1 Absorbe edilen fotosentetik olarak aktif radyasyonun fraksiyonu (FAPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation))**

OLCI, karasal bitki örtüsünün durumunu ve değişimini izlemek için Dünya'nın çok bantlı görüntülerini kaydeder. Bir OLCI standart seviye-2 ürünü olarak tanımlanan FAPAR, kara yüzeyleri üzerinde ölçülen radyasyondan türetilir. FAPAR, düzgün bir

şekilde tahmin edilmesi koşuluyla, faydalı olması açısından normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksinin (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)) yerine geçmek için tanımlanmıştır. Bitki fotosentetik sürecinde gerekli olan bu biyojeofizik ürün, bitki örtüsünün verimliliğini hesaplayan teşhis ve tahmin modellerinde sıkça kullanılır. Ayrıca bu parametre bitki örtüsündeki CO<sub>2</sub> asimilasyonunun tahmini için de bir veridir .

GCOS dahil uluslararası kuruluşlara göre FAPAR, dünya iklim sistemi verilerinin sağlanması için temel bir yüzey parametresidir.

### **2.3.2.2 Yaprak alan indeksi (LAI (Leaf Area Index))**

Belirli bir birim alan için yaprak alan indeksi, geniş yapraklı kanopiler için üst yaprak yüzeyi alanının yer alanına oranı olarak ve iğne yapraklı bitkiler için kozalaklı ağacın iğne yüzey alanının yer alanına oranı olarak tanımlanır. LAI doğrudan kanopi yapısını karakterize ettiğinden, birincil üretkenlik ve ürün büyümesi için iyi bir belirleyici gibi görünmektedir. Ek olarak, bitkiler ve atmosfer arasındaki CO<sub>2</sub> değişimi, su buharı ve enerji değişimi üzerindeki önemli etkisi nedeniyle ekosistem modellerinde sıkça kullanılır. Bu nedenle LAI, çeşitli ekosistem süreç modelleri için bir veri olarak gereklidir.

### **2.3.2.3 OLCI karasal klorofil indeksi (OTCI) (OLCI Terrestrial Chlorophyll Index)**

Bitki örtüsü spektral karşılığı, iki farklı unsurla tanımlanır. Birincisi, klorofil emiliminin bir sonucu olarak 400-675 nm spektrumun görünür aralığındaki düşük yansımadır. İkincisi, yaprak hücre duvarları ve hücre içi hava boşlukları tarafından gelen ışığın saçılması nedeniyle 750-1350 nm NIR (Near Infrared Radiation (Yakın Kızılötesi Yansıtma)) radyasyonunun nispeten yüksek bir yansımasıdır. Bu iki özellik arasında oluşan dar geçiş bölgesi, kırmızı kenar (Red Edge (RE)) olarak bilinir. RE pozisyonu (REP), daha uzun dalga boylarına doğru kayarak artan klorofil seviyelerine karşılık verir. Bu nedenle REP, kanopi klorofil içeriğinin (Canopy Chlorophyll Content (CCC)) uzaktan algılanması için başarıyla kullanılabilir.

### 2.3.3 Atmosferik izleme

Atmosferle ilgili OLCI gözlemlerinden üç temel veri elde edilebilir:

- Atmosferik bileşim (temel olarak aerosoller ve su buharı): İklim çalışmaları ve hava tahmini için temel bilgiler verir.
- Gözlemlenen alanın aydınlatma durumu: Biyolojik çalışmalar için önemli bir bilgidir.
- Dünya yüzeyinden ve atmosfer üstünden aşağı doğru inen güneş radyasyonu (uzun ve kısa dalga): Yeryüzü radyasyon dengesinin (Surface Radiation Balance (SRB)) tahmin edilmesi ve izlenmesinde önemli bilgiler verir.

#### 2.3.3.1 Atmosferik bileşim

Su buharı hem ışınımsal hem de kimyasal olarak aktiftir ve bu nedenle atmosferde önemli bir rol oynar. İnsan kaynaklı etkilerden daha dolaylı olarak etkilense bile, en güçlü sera gazıdır. Üst troposfer ve alt troposferde ışınım gücü ve ısı yayımı için önemli bir göstergedir. Ek olarak stratosferde, su buharı ozon dengesinde kimyasal olarak aktif bir gaz olan hidroksit için bir kaynak gazıdır.

Atmosferik aerosoller kütleli olarak atmosferin küçük bileşenleridir ancak bunlar iklimin ve özellikle iklim değişikliğinin önemli bir bileşenidir. Küresel radyasyon, doğrudan güneş radyasyonunu dağıtan ve bulut yansımaları, bulut örtüsünü ve bulutun yaşam süresini dolaylı olarak etkileyen aerosolden etkilenir.

Troposferik aerosoller iki farklı şekilde oluşturulabilir: Birincisi doğrudan yüzeyden, örneğin okyanuslardan gelen deniz tuzu ya da kıtalardan gelen toz, duman ve isle ikincisi ise atmosferdeki karmaşık kimyasal işlemler ve gazlı bileşenler arasındaki reaksiyonlar yoluyla oluşturulabilir.

#### 2.3.3.2 Aydınlatma koşulu

Fotosentetik olarak aktif radyasyon (Photosynthetically Active Radiation (PAR)), fotosentetik organizmaların fotosentez sürecinde kullanabileceği güneş radyasyonunun spektral aralığı (dalga bandı cinsinden 400 nm ile 700 nm arasında) olarak tanımlanır.

Tarım, ormancılık ve oşinografi örnek olarak okyanustaki ışık alan derinliği hesaplamak için PAR ölçümlerini kullanan temel bilimsel alanları temsil eder. OLCI

ürünleri, hem kara hem de okyanus uygulamaları için PAR ölçümlerini kapsar. Bu parametre, kara üzerinde bitki durumu ile mevcut radyasyon arasında bir bağlantı sağlar. Okyanus üzerinde, birincil üretimi hesaplamak için gereklidir.

Yer enerji bütçesinin önemli bir bileşeni yüzey radyasyon dengesidir (SRB). İklimin neredeyse tüm yönleri için önemlidir ve bu nedenle sistematik olarak izlenmesi gerekir. SRB, artan ve azalan güneş ve termal kızılötesi ışınlardan oluşur. İklim uygulamalarında kullanılmak üzere, bu bileşenler konum ve zamanla elektromanyetik spektrum üzerindeki yüksek dalgalanmalarından dolayı karmaşık ölçüm stratejileri gerektirir.

### 2.3.4 İklim değişikliği izleme

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)) ve Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) çalışmaları temel iklim değişkenleri (ECV) tarafından desteklenmektedir. Tüm ECV'ler, sistematik gözlem için teknik ve ekonomik olarak uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Veritabanlarını mevcut ve tarihsel gözlemlerle tamamlamak için uluslararası değişimler gereklidir. Şu anda tanımlanmış 54 ECV vardır.

OLCI ürünleri, bazı ECV'leri içerir (Çizelge 2.3).

**Çizelge 2.3 : Karşılık gelen ECV ve OLCI ürünleri.**

ECV	OLCI ÜRÜNLERİ
[Atmosferik Yüzey] Yüzey Radyasyon Dengesi	Fotosentetik olarak mevcut radyasyon
[Üst Atmosfer Tabakası] Su Buharı	Entegre su buharı sütunu
[Atmosferik Bileşim] Aerosol özellikleri	Aerosol optik kalınlık Aerosol angstrom üssü
[Okyanus] Okyanus Rengi	Sudaki yansımalar
[Okyanus] Alg	Alg pigment konsantrasyonu
[Karasal] Albedo	Düzeltilmiş yansımalar
[Karasal] Arazi örtüsü	Düzeltilmiş yansımalar
[Karasal] FAPAR	OLCI küresel bitki örtüsü indeksi
[Karasal] Yer üzerindeki biyokütle	OLCI karasal klorofil indeksi

## 2.4 Ürün Türleri

### 2.4.1 Seviye-1B

OLCI seviye-1 işlemcisinin üç işleme modundan (dünya gözlemi (EO), radyometrik kalibrasyon (RC), spektral kalibrasyon (SC)) ve dünya gözleminde mevcut olan tam ve düşürülmüş iki çözünürlükten dört farklı seviye-1B ürünleri elde edilir:

- OL\_1\_EFR , tam çözünürlük için EO işleme modu süresince çıkış ürünüdür.
- OL\_1\_ERR, düşürülmüş çözünürlük için EO işleme modu süresince çıkış ürünüdür.
- OL\_1\_RAC, radyometrik kalibrasyon modu süresince çıkış ürünüdür.
- OL\_1\_SPC, spektral kalibrasyon modu süresince çıkış ürünüdür.

NOT: OL\_1\_RAC ve OL\_1\_SPC, dahili PDGS (Payload Data Ground Segment (yük verisi yer bölümü)) ürünleridir ve Sentinel-3 kullanıcılarına dağıtılmaz.

EO işleme modundaki seviye-1B ürünleri, 21 OLCI spektral bandı için kalibre edilmiş, orto konumlandırılmış ve mekansal olarak yeniden gridlenmiş atmosfer üstü (Top of Atmosphere (TOA)) ışımaları içerir. İlişkili hata tahminleride ölçüm veri dosyalarında yer alır. Tam çözünürlüklü ürünlerde, bu parametreler ürün görünümündeki yeniden gridlenmiş her piksel ve çıkarılan her piksel için sağlanır. Düşürülmüş çözünürlük ürünlerinde, parametreler yalnızca ürün gridinde sağlanır.

### 2.4.2 Seviye-2 kara lrr ve lfr

OLCI seviye-2 kara ürünleri düşürülmüş (OL\_2\_LRR) veya tam (OL\_2\_LFR) çözünürlük olarak OLCI seviye-2 işlemcinin çıktılarıdır. Tam ve düşürülmüş çözünürlükte kara ve atmosferik jeofizik ürünleri içerir (Çizelge 2.4).

Bu dosyaların içeriği, OLCI yapılandırma parametrelerinde bulunan birkaç anahtara bağlıdır. Her jeofiziksel parametre formatı yalnızca ilgili anahtar 1'e ayarlandığında başlatılır. Bulanık olarak işaretlenen tüm pikseller OLCI seviye-2 işlemekten atılır.

OL\_2\_LFR ve OL\_2\_LRR ürünleri arasındaki tek fark, tam çözünürlük için yaklaşık 300 m ve düşürülmüş çözünürlük için 1.2 km mekansal örnekleme ile mekansal (uzamsal) çözünürlüktür. Ürünlerin yakın gerçek zamanda (NRT) (Kazanımdan sonra 3 saatten daha kısa sürede kullanıcılara teslim edilir.), kritik olmayan zamanda (Non Time Critical (NTC)) (kazanımdan sonraki 1 ay içinde) veya yeniden işlenmiş NTC'de hesaplandığı varsayılır.

Her ürün, aşağıdaki ölçüm veri dosyalarını içerir:

- Küresel bitki örtüsü indeksi (OLCI Global Vegetation Index (OGVI)) ve karasal klorofil indeksi (OLCI Terrestrial Chlorophyll Index (OTCI)) için yüzey ürünü dosyasıdır.
- Entegre su buharı (Integrated Water Vapour (IWV)) sütunu için atmosfer yan ürünleri dosyasıdır. (Bu ürün ayrıca su pikselleri için bilgi içerir ve OL\_2\_WRR ve OL\_2\_WFR'de bulunanlarla aynıdır.).
- Tüm ürünler için hata tahminleri içerir.

Birkaç ilişkili değişkende ek açıklamalar dosyalarından sağlanır:

- Kırmızı ve NIR kanalları için düzeltilmiş yansımadır (RC681 ve RC865).
- Sınıflandırma, kalite ve bilim işaretleridir (LQSF).
- Kara piksellerinin orto-coğrafi konumu, güneş ve uydu açıları, atmosferik ve meteorolojik veriler, zaman damgası veya algılayıcı bilgileri gibi yaygın verilerdir. Bu değişkenler seviye-1B ürünlerinden aktarılır.

**Çizelge 2.4 : Kara jeofizik ürünlerinin tanımı.**

Değişkenler	Açıklama	Birimler	Giriş Bantları
OLCI Küresel Bitki Örtüsü İndeksi (OGVI)	Bitki kanopisinde absorbe edilen fotosentetik olarak aktif radyasyon fraksiyonudur. (FAPAR)	boyutsuz	Oa03, Oa10, Oa17
OLCI Karasal Klorofil İndeksi (OTCI)	Karasal bitki örtüsündeki klorofil içeriği tahminleri, bitki örtüsü durumunu ve sağlığını izlemeyi amaçlamaktadır.	boyutsuz	Oa10, Oa11, Oa12
Entegre Su Buharı (IWV)	Bir atmosfer sütunu üzerine entegre edilmiş toplam su buharı miktarıdır.	kg.m <sup>-2</sup>	Oa18, Oa19
RC681 ve RC865	OGVI'nin yan ürünleri olan kızıl ve düzeltilmiş NIR yansımaları, atmosferik ve açısız etkilerden büyük ölçüde arındırılmış sanal yansımadır ve kanopi yansımalarının zirvesine iyi bir temsilcidir.	boyutsuz	Oa10, Oa17

### 2.4.3 Seviye-2 su wrw ve wfr

OLCI seviye-2 su ürünleri düşürülmüş (OL\_2\_WRR) veya tam (OL\_2\_WFR) çözünürlük olarak OLCI seviye-2 işlemcinin çıktılarıdır. Tam ve düşürülmüş çözünürlükte su ve atmosferik jeofizik ürünleri içerir (Çizelge 2.5).

Bu dosyaların içeriği, OLCI yapılandırma parametrelerinde bulunan birkaç anahtara bağlıdır. Her jeofiziksel parametre formatı yalnızca ilgili anahtar 1'e ayarlandığında başlatılır. Bulanık olarak işaretlenen tüm pikseller OLCI seviye-2 işlemeyi atılır.

OL\_2\_WFR ve OL\_2\_WRR ürünleri arasındaki tek fark, mekansal çözünürlüktür.

**Çizelge 2.5 : Su ve atmosferik jeofizik ürünün tanımı.**

Değişkenler	Açıklama	Birimler	Giriş Bantları
Rxxx	Atmosfer ve güneşin aynasal yansımaları için düzeltilmiş yüzey yönlü yansımadır.	Boyutsuz	Oa13, Oa14, Oa15, Oa19 ve Oa20 hariç tümü
chl_oc4me ve chl_NN	"OC4Me" veya Neural Network algoritmaları kullanılarak hesaplanan klorofil-a konsantrasyonudur.	mg (chl a) m <sup>-3</sup>	Oa3'ten Oa6'ya Oa1, Oa12, Oa16, Oa17, Oa18 ve Oa21
TSM_NN	Toplam askıda madde konsantrasyonudur.	gm <sup>-3</sup>	Oa1-Oa12, Oa16, Oa17, Oa18 ve Oa21
KD490_M07	490 nm'de aşağı hareket eden ışınım için yaygın zayıflama katsayısıdır.	m <sup>-1</sup>	Oa4 ve Oa6
ADG_443_NN	443 nm'de renkli, kırıntılı ve çözünmüş materyalin emilimidir.	m <sup>-1</sup>	Oa1, Oa12, Oa16, Oa17, Oa21
PAR	400 nm - 700 nm spektral aralığında güneşten gelen kuantum enerji akışıdır.	μEinstein.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>	-
T865 ve A865	Aerosol yükü, 865 nm dalga boyundaki optik derinliğinde ve 779 ile 865 nm arasında aerosol optik derinliğinin spektral bağımlılığı olarak ifade edilir.	Boyutsuz	Oa5, Oa16 ve Oa17
IWV	Entegre su buharı sütunudur.	kg.m <sup>-2</sup>	Oa18, Oa19

Her ürün aşağıdaki ölçüm veri dosyalarını içerir:

➤ Atmosferik gaz ölçümüne ayrılmış olanlar hariç tüm bantlar için sudaki yansıma (Rxxx) tanımlanmıştır. İki tür yansıma ayırt edilir:

1."Temel atmosferik düzeltme algoritması" için BAC (Baseline Atmospheric Correction) yansımasıdır.

2."Alternatif atmosferik düzeltme algoritması" için AAC (Alternative Atmospheric Correction) yansımasıdır.

- BAC, bu ürün paketindeki yansımanın işlevsel çıktısı için kullanılır. Ancak yansımaların hesaplandığı ve AAC'ye ihtiyaç duyulduğu durumlarda, algoritmalar arasında geçiş yapmak için yapılandırma dosyasında bir ayar tanımlanmıştır.
- Okyanus rengi ürünleri örneğin: alg pigmenti (chl\_oc4me ve chl\_nn , iki ayrı dosyada), toplam askıda madde (TSM\_NN) konsantrasyonları ve saydamlık, yaygın zayıflama katsayısına (KD490\_M07) bağlı olarak nitelendirilir.
- CDM (Coloured Dissolved Matter) emilimi (ADG\_443\_NN) gibi suya özgü optik özelliklerin sinir ağıdır.
- Atmosfer yan ürünleri fotosentetik olarak aktif radyasyon (Photosynthetically Active Radiation (PAR)), aerosol optik derinlik/aerosol angstrom üssü ve entegre su buharı sütunudur (IWV). Bu son değişken aynı zamanda kara pikselleri içinde bilgi içerir ve OL\_2\_WRR ve OL\_2\_WFR'de bulunanlarla aynıdır.
- Tüm ürünler için hata tahminleri mevcuttur.

Birkaç ilişkili değişkende ek açıklamalar dosyalarından sağlanır:

- Sınıflandırma, su kalitesi ve bilim işaretleri(WQSF) dosyalarıdır. WQSF dosyası, geçerlilik, şüpheli kalite, yüzeysel dolgu, çevre ve algoritma durumu hakkında bilgi sağlar.
- Su piksellerinin orto-coğrafi konumu, güneş ve uydu açıları, atmosferik ve meteorolojik veriler, zaman damgası ve algılayıcı bilgileri gibi yaygın verilerdir. Bu değişkenler seviye-1B ürünlerinden aktarılır.

## 2.5 Veri Biçimleri

OLCI veri formatı PDGS (Payload Data Ground Segment) ürün tanımlamada her Sentinel-3 ürünü için tanımlanan formatı takip eder ve SENTINEL-SAFE temel almır.

SENTINEL-SAFE Uzay Veri Sistemleri için Danışma Kurulu (Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS)) tarafından geliştirilen xml formatlı veri birimlerine (XFDU) dayanmaktadır. SENTINEL-SAFE XFDU'nun bir profilidir ve dünya gözlem alanında özel kullanım için XFDU özelliklerini kısıtlar. Yer bölüm tesisleri arasında birlikte çalışılabilirliği arttırmak için aynı etki alanında anlam bilimi sağlar.

Her ürün paketi şunları içerir:

- Bir meta veri bölümü ve bir veri nesnesi bölümü içeren bir bildirim dosyası
- Ölçüm veri dosyası
- Açıklama veri dosyaları
- Yalnızca seviye-0 için, temsili veri dosyaları

Sentinel-3 kullanıcı ürünleri, kullanıcılar için çevrimiçi dağıtımı ve veri işlemeyi kolaylaştırmak için ürün dağıtım birimlerinde (Product Dissemination Unit (PDU)) dağıtılır. PDU, verilerin bir bölümüdür ve ürün türüne göre tanımlanır.

- EFR (Earth Observation Full Resolution) : Dünya gözlemi tam çözünürlük
- ERR (Earth Observation Reduced Resolution) : Dünya gözlemi düşürülmüş çözünürlük
- RAC (Radiometric Calibration) : Radyometrik kalibrasyon
- SPC (Spectral Calibration) : Spektral kalibrasyon
- WFR (Water Full Resolution) : Su tam çözünürlük
- LFR (Land Full Resolution) : Kara tam çözünürlük
- WRR (Water Reduced Resolution) : Su düşürülmüş çözünürlük
- LRR (Land Reduced Resolution) : Kara düşürülmüş çözünürlük

## 2.6 İşleme Seviyeleri

### 2.6.1 Seviye-0 algoritmalar ve ürünler

Ana görevleri PDGS'de seviye-1 ve seviye-2'nin işlenmesini desteklemek olduğu için seviye-0 ürünleri kullanıcılar tarafından kullanılamaz.

OLCI seviye-0 ürünü üç farklı paketten oluşur:

- OL\_0\_EFR paketi, tam çözünürlüklü ISP'nin (Instrument Source Packets (OLCI kaynak paketleri)) işlenmemiş verilerini içerir (Zamana göre sıralanmış ve açıklamalıdır.).
- OL\_0\_CR0 paketi, spektral gevşeme olmadan yani 46 mikro bantta elde edilen verilerle hesaplanan kalibrasyon işleminden gelen parametreleri içerir.
- OL\_0\_CR1 paketi, spektral gevşeme ile yani 22 bantta elde edilen verilerle hesaplanan kalibrasyon işleminden gelen parametreleri içerir.

Seviye-0 işleme seviye-0 ürünleri oluşturmayı amaçlar. OLCI kaynak paketlerinden (ISP) zamana göre sıralı ve açıklamalı veriler oluşturur. OLCI seviye-0 ürünleri yalnızca dahili ürünlerdir. SENTINEL-3 kullanıcılarına dağıtılmazlar.

İşlemenin ilk kısmı, bir kalite kontrolü gerçekleştirmeyi ve açıklama verilerini eklemeyi içerir. İşlenmemiş veri dosyaları okunur, gerekli tüm veriler çıkarılır ve ayrıştırılır. ISP'ler, eksik ve yinelenen paket numaralandırması da dahil olmak üzere sıralanır ve kontrol edilir.

Sürecin son kısmı seviye-0 ürün üretmedir. Çeşitli kalite bayrakları hesaplanıp ilişkili meta verilere ve işlenmemiş verilere dahil edilir. Zamana göre sıralanır ve açıklama eklenip, seviye-0 paketine dahil edilir.

Seviye 0 işleme şunları sağlamalıdır:

- Artık saniye yönetimi ele alınır.
- Ürün kalite bayrakları, sembolik işleme, uydu manevrası, acil durum işleme ve bozulmuş işleme hakkında bilgi sağlar.
- Eksik ISP'lerin toplam sayısı rapor edilir.
- Seviye-0 ürünlerine kopyalanmış paketler dahil değildir.

OLCI seviye-0 ürünleri temel olarak, alet telemetrisi (uzaktan ölçüm) dahil olmak üzere OLCI algılayıcı kaynak paketlerinden oluşur. Zaman kalibrasyonu verileri, zaman damgaları ve kalite bilgileri gibi bazı ilgili ek açıklamalar içerir.

OLCI konfigürasyonuna bağlı olarak, aynı yapı ve formatta ancak farklı boyutlarda üç farklı seviye-0 ürün dosyası vardır:

- Dünya gözlem modu
- Radyometrik kalibrasyon modu
- Spektral kalibrasyon modu

### **2.6.2 Seviye-1 algoritmalar ve ürünler**

OLCI seviye-1 operasyonel işlemcisi, her biri kendi seviye-1B ürünlerine sahip üç işleme moduna bölünmüştür.

- Yeryüzü gözlem modu, dünya gözlem konfigürasyonunda benzersiz bir yörüngede OLCI tarafından elde edilen işlenmemiş verilerle ilişkili seviye-0 ürünlerinden seviye-1B ürünlerini hesaplamayı amaçlamaktadır.
- Radyometrik mod, kalibrasyon katsayılarını hesaplamayı amaçlar.

➤ Spektral kalibrasyon modu, sensör dizileri üzerindeki belirli konumlarda mutlak dalga boylarını hesaplamayı amaçlar.

**Not:** Yeryüzü gözlem işleme sonucu, varsayılan olarak iki ürün çıkar. Biri yaklaşık 300 m mekansal çözünürlüğe sahip tam çözünürlükte diğeri ise yaklaşık 1.2 km mekansal çözünürlüğe sahip düşürülmüş çözünürlükte dir.

➤ Radyometrik kalibrasyon işleminden elde edilen çıktı, kalibrasyon tarama tablosu dizisidir.

➤ Spektral kalibrasyon işleminin çıktısı, dalgaboyu karakterizasyon tablosu dizisidir.

### **2.6.2.1 OLCI radyometrik kalibrasyon (radiometric calibration, RC)**

OLCI radyometrik kalibrasyon işlemi, radyometrik kalibrasyon kazanımları çok daha düşük bir zaman frekansında yapıldığından, OLCI atmosfer üstü ışımaya verilerini veren işleme akışında yer almayan tamamlayıcı bir işleme adımıdır.

Bununla birlikte, genel sürecin önemli bir parçasıdır ve yörünge üzerindeki OLCI verilerine dayandığından, OLCI seviye-1 işleminin bir parçası olarak kabul edilir.

### **2.6.2.2 OLCI spektral kalibrasyon (spectral calibration, SC)**

OLCI spektral kalibrasyon işlemi, düşük frekansta elde edilen yörünge üzerindeki verilere dayanan ve OLCI seviye-1 işleminin bir parçası olarak kabul edilen, başka bir tamamlayıcı işleme aşamasıdır.

Dedektör dizilerinin belirli satırlarının merkezi dalga boylarını doğru bir şekilde belirlemeyi amaçlar. Radyometrik kalibrasyon ve dünya gözlemi veri işleme sırasında kullanılan OLCI algılayıcısının spektral modelinin genel doğruluğuna ve güvenilirliğine katkıda bulunur.

Radyometrik kalibrasyonda olduğu gibi, birkaç işleme adımı dünya gözlemi seviye-1 işleme ile ortak yönleri paylaşır. Bununla birlikte önemli bir fark, ardışık yörüngelerde elde edilen iki seviye-0 ürünlerinin bulunmasına ihtiyaç duyar.

### **2.6.2.3 Dünya gözlem modu (earth observation, EO)**

OLCI seviye-1 dünya gözlem işleme, temel olarak OLCI kaynak paketlerinde (ISP'ler) bulunan sayısal hesapların ışımaya olarak kalibre edilmesini, elde edilen piksellerin dünya yüzeyinde coğrafi konumunun belirlenmesini ve OLCI

algılayıcısının ideal alanını temsil eden ortogonal bir ürün gridinde görüntünün yeniden örneklenmesini içerir. Ek olarak kalite bayrakları, meteorolojik açıklamalar ve piksel sınıflandırma işaretleri hesaplanır ve seviye-1B çıktı ürünlerine eklenir.

Bu işlem aşağıdaki adımları içerir:

### 1. Veri çıkarma ve kalite kontrolleri

Veri çıkarma ve kalite kontrol işleme, OLCI kaynak paketlerinden (ISP) faydalı verileri çıkarmayı amaçlar. Bilimsel veriler, hem ISP'nin veri alanından hem de veri akışındaki anormalliklerin daha fazla işlenmesi ve tespiti için gerekli bilgilerden çıkarılır. Veri akışındaki anormalliklere aşağıdaki örnekler verilebilir:

- İletim hatası
- Format hatası
- Sıra hatası

OLCI ölçüm verileri, algılayıcı durumu hakkında ek bilgiyle OLCI ISP'leri olarak adlandırılan bit dizilerine ardışık olarak sıralanır ve paketlenir. Paketler, seviye-0 ürünü şeklinde işleme girer.

Seviye-0 ürünleri, spektral gevşemeyle veya olmaksızın, nominal olarak dünya gözlemi veya kalibrasyonu olan tek bir algılayıcı moduna ait paketleri içerir. Kalibrasyon verilerini içeren bir seviye-0 ürünü dünya gözlemi seviye-1 işleme için gönderilirse, ISP'ler veri çıkarma adımında reddedilecek ve işlem durdurulacaktır.

Seviye-0 ürünü, herhangi bir boyutta eksik paketler içerebilir. Kopyaların seviye-0 işleme ile kaldırıldığı varsayılır.

### 2. Radyometrik ölçekleme

Radyometrik işleme şunları içerir:

- Başlatma
- Doğrusal olmayan düzeltme
- Karanlık sinyal düzeltmesi
- Leke düzeltme
- Mutlak kazanç kalibrasyonu
- Yüzeysel piksel doldurma

OLCI işlenmemiş sayımlarına uygulanan radyometrik işleme, kalibre edilmiş atmosfer üstü ışığa (TOA) değerlerini elde etmeyi amaçlamaktadır. OLCI örnekleri TOA'da tek tek işlenir.

### 3. Kaçak ışık düzeltme

Belirli bir örneğin sinyali, speküler yansımalar (aynasal yansıma) veya saçılma yoluyla diğer örneklerden OLCI algılayıcısına gelen kaçak ışıkla kirlenir. Kaçak ışık, özellikle bulutlara yakın okyanus pikselleri veya bitki örtüsüyle kaplı arazi için yakın kızıl ötesi ışıkta ölçülen sinyale önemli bir katkıda bulunabilir .

OLCI kaçak ışık düzeltme algoritması aşağıda tanımlanmıştır. Bozulmayı tahmin etmek ve düzeltmek için kaçak ışık kirliliğinin karakterizasyonu kullanılır.

Kaçak ışık sinyale küçük bir katkı sağladığı için bozulmuş sinyalden değerlendirilir. Temel sinyal yapısı korunur.

### 4. Coğrafi referanslama

OLCI piksellerinin coğrafi referansı, piksel görüş hattı ve dünya yüzeyi arasındaki ilk kesişim her piksel için hesaplamayı kapsar. Dünya yüzeyi, dijital yükseklik modeli (Digital Elevation Model (DEM)) ile tamamlanan WGS-84 referans elipsoidi ile temsil edildiği varsayılmaktadır.

Bu algoritma dört ana adımı içerir:

- Her OLCI kazanımı sırasında uydu konumunu ve duruşunu yeniden düzeltmektir. Bu adım, NAVATT paket bilgileri temelinde CFI (Customer Furnished Item (Alıcı Donatılmış Öge)) fonksiyonlarına yapılan çağrılarla gerçekleştirilir.
- OLCI algılayıcısını uydu yörüngesinde hizalamaktır. Bu, uzun süreli ve yörüngedeki pozisyonun (kısa süreli etki) bir işlevi olarak özel bir fonksiyonla gerçekleştirilir.
- Yüksek çözünürlüklü bir yükseklik modeli dahil olmak üzere, her pikselin görüş hattının dünya yüzeyiyle kesişimini ek olarakta azimut ve zenit açılarını görüntülemek ve güneşe karşılık geleni hesaplamaktır. Bu, CFI fonksiyonlarında bütünleşik Dünya/Güneş efemerisi ve önceki adımlarda elde edilen uydu hizalanması, duruşu ve uydu konumunun hesaplanmaları CFI fonksiyonlarına karşılık gelen görevler tarafından gerçekleştirilir.
- Coğrafi referans bilgisi temeline göre pikselleri daha çok sınıflandırmaktır.

## 5. Piksel sınıflandırma fonksiyonları

Pikselleri bölmeyi amaçlayan çeşitli fonksiyonlar tanımlanmıştır:

- Atmosferik koşullar ne olursa olsun, statik veya yarı statik atlastan önceki bilgi temelinde öncelikli yüzey sınıflarıdır.
- Güneş parıltısıyla etkilenme riski gösteren piksellerdir.
- Basit parlaklık kriterleri kullanılarak bulutlu piksellerin ön tespiti.

Birinci sınıflandırma türü yalnızca piksel coğrafi konum bilgisinden elde edilirken, ikinci ve üçüncüsü dinamik bir yapıya sahip olup, ikincisi için gözlem/aydınlatma geometrisinden ve yerel rüzgar koşullarından, üçüncü için kazanım geometrisini hesaba katarak ölçülen parlaklıktan tahmin edilir.

Sınıflandırma süreci, gerekli giriş verilerine göre üç bağımsız fonksiyona ayrılır:

- APrioriClasses, sağlanan konumda öncül yüzey sınıflarını geri verir.
- GlintRiskMask, mevcut yüzey rüzgar koşullarına ve kazanım geometrisine göre güneş parlaması olasılığını (su yüzeylerinde) geri yansıtır.
- BrightMask, güneş ve görünüm yönleri belirli bir dalga boyunda giriş parlaklığından, radyometrik tabanlı parlak bulut sınıflandırmasını geri gönderir.

## 6. Mekansal yeniden örnekleme

Mekansal yeniden örnekleme işlemi, çıktı ürünlerinin gridlerini tanımlar ve doldurur. İki tür grid vardır:

- Tam çözünürlüklü (Full Resolution (FR)) ürün gridi
- Düşürülmüş çözünürlüklü (Reduced Resolution (RR)) ürün gridi (FR'den dört kat daha kalın)

Her iki ürün gridi, yol boyu için yerden eşit aralıklarla yerleştirilen örneklerin ve eşit aralıklı zaman örneklerinin temelinde oluşturulur. Yer mesafesi, referans elipsoidin (WGS84) yüzeyinde hesaplanır. Yol boyunun uzunluğu, uydu gerçek referans çerçevesi ve referans elipsoidinde yz düzlemi arasındaki kesişim olarak tanımlanır.

FR ürünü için örnekleme, RR gridi için dört ardışık OLCI zaman örneğinden ortadaki örnektir ve OLCI algılayıcısı zaman örneklemedir (44 ms). FR için yol mesafesi boyunca örnekleme adımı, en iyi uydu mekansal örnekleme adımına karşılık gelir ve yardımcı verilerle belirtilir. RR için yol mesafesi boyunca örnekleme adımı, FR'nin dört katıdır. Ürün pikselleri, en yakın komşuyu yeniden örnekleme

yöntemine göre FR için OLCI pikselleriyle, RR için uydu piksellerinin çevresinin ortalamaları ile doldurulur.

FR pikselleri için yeniden örnekleme şeması, çıktı ürün gridinin öğelerine ayrılmasını ve her ürün pikseli için, yol boyunca işaretleme açısının bilinmesini kapsar. OLCI piksellerinin gerçek işaret yönlerinin dizisi en yakın olanı için aranır. Bir kez bulunduktan sonra, yol boyunca karşılık gelen OLCI pikselinin belirlenmesi karakterizasyondan elde edilen iki boyutlu uydu mekansal gridinde benzersiz bir piksel tanımlayan, uygun olan OLCI çerçevesine yön vermek için kullanılır.

RR için yeniden örnekleme şeması FR şemasına çok benzerdir. Ancak FOV (Field of View (görüş alanı)) kenarlarına doğru mekansal çözünürlük bozulmasını en aza indirmek için kaynak verilerin en yüksek mekansal çözünürlüğünden yararlanır. Bu, FOV içi pozisyona veya yol boyunca işaretleme açısına göre yol boyunca değişen sayıda pikselin ortalamasının alınmasıyla elde edilebilir. Yol boyunca ortalaması alınacak piksel sayısı sabit kalır ve RR ürün pikseli merkezinden yol boyunca hedef açısının bir fonksiyonu olarak alınır. RR yeniden örnekleme aksi takdirde FR yeniden örnekleme ile aynıdır.

Uygulanan gridin düzeni ve ilişkili coğrafi referans verilerindeki kısmen düşük doğruluk zorunluluğu, bağlantı noktası gridi ve çift doğrusal (bilinear) enterpolasyon olarak adlandırılan bir alt gridin kullanılmasına izin verir. Bağlantı noktası gridi, FR ve RR ürünü için yol boyunca aynı zemin aralığına sahiptir. FR ürün gridine göre yol boyunca karşılık gelen alt örnekleme faktörü bir düzenleme parametresi ile tanımlanır ve 64 FR pikseline ayarlanır.

Ayrıca sadece meteorolojik verilerin eklendiği bağlantı noktalarında bulunur. Meteorolojik veriler bir hava durumu tahmin merkezi (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)) tarafından sağlanan küresel veri gridlerinden alınır ve bağlantı noktası konumlarında uzayda ve uygun zamanda interpolate edilir.

## 7.Ürün biçimlendirme

Not: Seviye-1A ürünü oluşturulmadığından, tüm dünya gözlem işleme seviye-1B olarak kabul edilir.

Dünya gözlem modu için kısaltmalar Çizelge 2.8'de verilmiştir.

**Çizelge 2.8 : OLCI seviye-1 dünya gözlem işleme kısaltmalar.**

Kısaltma	Ad
IC (Instrument Characterization)	Algılayıcı Karakterizasyonu
RC (Radiometric Characterization)	Radyometrik ve spektral kalibrasyon
DEM (Digital Elevation Model)	Dünya yüzeyinin dijital yükseklik modelidir, görev yazılımının CFI'da (Customer Furnished Item) gömülü olduğu varsayılır.
LWCM (Land/Water/Coastline Map)	Kara / su / sahil şeridi. Harita gelgit alanları ve açık okyanus suları haritalarıdır.
CT (ClassificationThreshold)	Parıltı ve ışıltı sınıflandırma eşikleri
MD (Meteorological Data)	Meteorolojik veriler
OF (Orbit File)	Yörünge dosyası

### 2.6.3 Seviye-1B ürünleri tanımı

OLCI seviye-1 işleme üç mod sunar. Bu nedenle üç farklı ürün OLCI seviye-1B ürünleriyle ilişkilendirilir:

- Dünya gözlem modu
- Radyometrik kalibrasyon modu
- Spektral kalibrasyon modu

Seviye-1 işlemcisinin çıktıları, OLCI seviye-1 FR (tam çözünürlük) ürünü ve OLCI seviye-1B RR (düşürülmüş çözünürlük) ürünüdür (Çizelge 2.9).

#### 2.6.3.1 Yer gözlem modu

Tam Çözünürlük veya Düşürülmüş Çözünürlük Atmosfer Üstü (TOA) Parlaklıkları

Bu ürün, OLCI algılayıcısından alınan fiziksel ölçümlerden oluşur. Bunlar, jeofizik birimlere ( $Wm^{-2} \cdot Sr^{-1} \mu m^{-1}$ ) göre kalibre edilmiş, dünya yüzeyine coğrafi olarak referanslanmış, aydınlatma ve gözlem geometrisi, çevre verisi, kalite ve sınıflandırma işaretleriyle açıklanan ve eşit aralıklı bir grid üzerinde mekansal olarak yeniden örneklenmiş atmosfer üstü ışımalarıdır. Ürün tam çözünürlük ve düşürülmüş çözünürlük olarak iki mekansal çözünürlükte mevcuttur:

**Çizelge 2.9 :** OL\_1\_EFR ürünü açıklama (düşürülmüş çözünürlük için OL\_1\_ERR).

Öğe Adı	Açıklama
Manifest.safe	SENTINEL-SAFE ürün bildirimini
Oa ## _ radiance.nc	1-21 arası OLCI kazanım bantları için parlaklık
Removed_pixels.nc	Seviye-1C üretimi için gerekli piksel bilgileri kaldırıldı.
Time_coordinates.nc	Zaman damgası ek açıklamaları
Geo_coordinates.nc	Yüksek çözünürlüklü coğrafi referans verileri
Quality_flags.nc	Sınıflandırma ve kalite işaretleri
Tie_geo_coordinates.nc	Düşük çözünürlüklü coğrafi referans verileri
Tie_geometries.nc	Güneş ve görüş açıları
Tie_meteo.nc	ECMWF ( European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) meteoroloji verileri
Instrument_data.nc	Algılayıcı verileri

Not: Oa ##, seviye-1 işlemede dikkate alınan ve aşağıdaki tabloda açıklanan tüm OLCI kanallarını temsil eder.

### 2.6.3.2 Kalibrasyon modları

Seviye-1B işlemede iki özel kalibrasyon modu ayırt edilebilir:

#### ➤ Radyometrik Kalibrasyon Modu

Radyometrik kalibrasyon ürünü, dünya gözlem modunda kullanılan OLCI radyometrik kalibrasyon yardımcı veri dosyasını (ADF (Auxiliary Data File)) güncellemek için kullanılacak karanlık akım ve kazanç katsayılarından oluşur. Kullanıcı için açık olmayan bu ürün OL\_1\_RAC, bir ölçüm dosyası ve bir açıklama dosyası içerir. Radiometric\_coef.nc ölçüm dosyası karanlık akım ve kazanç katsayılarını içerir.

#### ➤ Spektral Kalibrasyon Modu

Spektral kalibrasyon ürünü, dünya gözlem modunda kullanılan ilgili OLCI spektral karakterizasyon yardımcı veri dosyasını (ADF) güncellemek için kullanılacak seçili CCD dizilerinin mutlak merkezi dalga boylarından oluşur. Kullanıcı için açık

olmayan bu ürün OL\_1\_SPC, bir ölçüm dosyası ve iki açıklama dosyası içerir. Cal\_wavelengths.nc ölçüm dosyası, spektral kalibrasyon dalga boyu verilerini içerir.

#### 2.6.4 Seviye-1 adf

Tüm OLCI seviye-1 ADF'leri netCDF formatında yazılır ve OLCI seviye-1 işleminin farklı adımlarında kullanılır (Çizelge 2.10).

**Çizelge 2.10 : Seviye-1 ADF'ler.**

ADF	PDGS Ürün Tipi	İç/Dış	Sağlayıcı	Biçim	Uyarılar
EO (Earth Observation) Modu İçin Kontrol Parametresi İşleme dosyası	OL_1_EO_AX	İç	ESL	netCDF4	
RC (Radiometric Calibration) Modu İçin Kontrol Parametresi İşleme dosyası	OL_1_RAC_AX	İç	ESL	netCDF4	
SC Modu (Spectral Calibration) İçin Kontrol Parametresi İşleme dosyası	OL_1_SPC_AX	İç	ESL	netCDF4	
Sınıflandırma Eşiklerinin LUT'lar (Lookup Table) Veri Dosyası	OL_1_CLUTAX	İç	ESL	netCDF4	
Kalibrasyon Veri Dosyası	OL_1_CAL_AX	İç	ESL	netCDF4	
Programlama Veri Dosyası	OL_1_PRG_AX	İç	ESL	netCDF4	
Kara/Su Maske Dosyası	AX__LWM_AX	İç	ESL	GeoTIFF	Ortak Optik ADF
Açık Deniz Maske Dosyası	AX__OOM_AX	İç	ESL	GeoTIFF	Ortak Optik ADF
Sahil Şeridi Maske Dosyası	AX__CLM_AX	İç	ESL	GeoTIFF	Ortak Optik ADF
Gelgit Bölgeleri Maske Dosyası	AX__TRM_AX	İç	ESL	GeoTIFF	Ortak Optik ADF

## 1. Kontrol parametreleri işleme

Her işleme modu için bir tane olmak üzere üç farklı kontrol parametresi işleme dosyası vardır.

Dünya gözlem modunda kullanılan OLCI seviye-1 kontrol parametresi işleme dosyası aşağıdaki bilgileri içerir:

- İşleme anahtarları, kaçak ışık ve doğrusal olmayan düzeltmeleri etkinleştirme/devredışı bırakmak.
- İşleme anahtarları, karanlık akım hesaplama yöntemini seçmek.
- Kaçak ışık düzeltme parametreleridir.

## 2. OLCI seviye-1 işleme dünya gözlemi

Dört ana yardımcı dosya, dünya gözlem modunda OLCI seviye-1 işleme boyunca yorumlanır:

*OLCI Level-1 Classification Thresholds LUTs* veri dosyası güneşe ve görüntüleme geometrilerine, güneşin zenit açısı ve pikseldeki rüzgarın genliğine bağlı olarak parlak piksel ve güneş yansıma riski işaretlerinin elde edilmesini sağlayan eşiklerin LUT'larını içerir. Parlaklık testi LUT'u (Lookup Table), pikseldeki yansıma ile doğrudan karşılaştırma yapmak için eşikler içerir. Güneş yansıma riski LUT'u (taramalı tablo), speküler yön etrafındaki saçılma açısını karakterize eden bir dalga açısı olarak ifade edilir.

*OLCI Level-1 Characterisation and Models* veri dosyası zemin üzerinde OLCI karakterizasyonu çalışma süresi boyunca edinilen verilerin yanı sıra uyduya özgü referans değerlerini içerir.

*OLCI Level-1 Calibration* veri dosyası kalibrasyon işlemi yoluyla hesaplanan kalibrasyon katsayıları ve parametreler ile ilgili olarak uydunun ömrü boyunca güncellenen verileri içerir.

*OLCI Level-1 Programmation* veri dosyası uydu programlamaya ilişkin verileri içerir.

### **2.6.5 Seviye-2 algoritmalar ve ürünler**

Seviye-1B'de, OLCI algılayıcısı 21 spektral kanalda görünür ve kızıl ötesi spektral alanda dünya yüzeyinin parlaklık ölçümlerini kaydeder. Bu ölçümler, coğrafi

referans verileri ve gözlem geometri parametreleri ile açıklanmış, doğru bir şekilde kalibre edilmiş atmosfer üstü ışınlarıdır. Seviye-2 veri işleme, jeofizik ürünlerini üç ana adımda elde etmeyi amaçlamaktadır:

- Ön işleme (Temel amacı, belirli bir pikselin daha fazla analiz edilip edilmeyeceğine karar vermektir.)
- Okyanus işleme
- Arazi işleme

Okyanus işleme ve arazi işleme, yüzey türlerine karşılık gelen beklenen jeofiziksel özellikleri sağlar.

Ön işleme adımı, seviye-1 atmosfer üstü parlaklığını jeofiziksel özellikler için daha uygun bir parametre olan yansımaya dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Bu adımı, gaz emilimi, piksel sınıflandırması ve toplam su buharı sütunu içeriğinin geri alınması için bir düzeltme takip eder. Bulanık pikselleri ortadan kaldırdıktan sonra, pikselin doğasına (su/kara) göre OLCI seviye-2 iki bağımsız süreç halinde düzenlenir:

1. Bir parlaklık tahmini ve düzeltmesinden oluşan su sınıfı, özel bir durumda NIR spektral aralığında su yansıtma tahmini, aerosol tanımlama, okyanus renginin ve son ilişkili ürünlerin elde edilmesine izin veren atmosferik düzeltmedir.
2. Kara sınıfı, iki bağımsız modül kullanır (Küresel Bitki Örtüsü İndeksi ve Karasal Klorofil İndeksi).

### **2.6.5.1 Ön işleme**

Seviye-1B TOA (atmosfer üstü) ışınlarıyla başlayan bu işlem gaz emilimi için düzeltilmiş yansımaları elde eder. Ayrıca seviye-1B'den piksel sınıflandırmalarının birleştirilmesine olanak sağlar. Su buharının geri kazanımı, gaz düzeltmesinin bir yan ürünüdür.

Bu süreç beş ana adıma bölünmüştür:

1. Kalite kontrolleri, parlaklıktan yansımaya dönüşüm (hem ölçümlerin hem de hata tahminlerinin) ve bir piksel gridi üstündeki enterpolasyon bağlantı noktaları verisi dahil seviye-1B paketlenmiş ürün bilgisinden verinin çıkarılmasıdır.
2. Piksel sınıflandırmasıdır.
3. Atmosferik gazlar tarafından emilim için TOA yansımalarının düzeltilmesidir.

4. Su buharı geri kazanımı: Birleşik su buharı sütununun geri kazanımıdır.
5. Gerekğinde açık gökyüzü piksellerinin yeniden yüzey sınıflandırılmasıdır.

### **2.6.5.2 Yansıma dönüşümü için parlaklık**

Bu süreç, seviye-1B giriş verilerini çıkarmayı ve içerdiği parlaklığı üç ana adımda yansıtmaya dönüştürmeyi amaçlamaktadır.

1. Geometrik ve meteorolojik parametreler için ön işlemdir. Bu adım, seviye-1B ek açıklama ürününün her bağlantı noktasında sağlanan, geçersiz olanlar da dahil olmak üzere her pikselde geometrik ve meteorolojik parametreleri (basınç, rüzgar) üretmek için uygulanır.

2. Seviye-1B piksel sınıflandırma taramasıdır. Seviye-2 piksel tanımlaması, seviye-1B ürününün "geçersiz" işaretiyle başlar. "Doğru" olarak ayarlanmışsa, mevcut pikselde daha fazla işlem yapılmaz. Seviye-2 ürünü geçersiz işaret setiyle tüm jeofizik ürünler için sabit değerler içerecek ve sonraki piksel incelenecektir. Aksi takdirde mevcut pikselin işlenmesine devam edilir.

3. Piksel çıkarma ve yansıma dönüşümüdür. Seviye-1B pikseli "geçersiz" olarak işaretlenmemişse, diğer seviye-1B işaretleri ve tüm bantlardaki atmosfer parlaklıkları seviye-1B ürününden çıkarılır. Parlaklıklar, seviye-1B ürün notlarında bulunan güneş spektral akısı ve pikselde enterpolasyonlu güneş zenith açısının kosinüsü kullanılarak yansımalarla dönüştürülür.

### **2.6.5.3 Piksel sınıflandırması**

Kara veya su piksellerini işlemeden veya daha fazla işlemde muaf tutmadan önce, bunları dört kategoriye ayırmak gerekir:

- Bulut
- Arazi
- Su
- Geçersiz

Açık gökyüzü pikselleri, atmosferik gazlar tarafından emilim için düzeltilir ve ikinci bir sınıflandırma adımı uygulanır. Bu ikinci bölüm, su ve toprak arasındaki seviye-1B sınıflandırmasını pekiştirmeyi amaçlamaktadır. İkincisi, LAND\_F işareti

biçiminde coğrafi bir göstergedir. Algoritma, güçlendirilmiş kara/su işaretini temin etmek için LANDCONS\_F radyometresini kullanır.

#### **2.6.5.4 Gaz düzeltme**

Atmosferdeki ışımsal transfer süreçleri ve OLCI ölçümleri esas olarak aşağıdakilerden etkilenir:

- Hava moleküler saçılması
- Ozon emilimi
- Su buharı emilimi
- Oksijen emilimi
- Nitrojendioksit emilimi
- Klordioksit emilimi
- Aerosol saçılması ve emilimi
- Bulut saçılması ve soğurulması

Sonuç olarak, atmosferik gazların OLCI ölçümleri üzerindeki etkisini tahmin etmek için tüm atmosferik bileşenlerin araştırılması gerekir. Emilim miktarı her atmosferik gazın dikey dağılımının yanı sıra etkisinin düzeltilmesi için etkiyi ve stratejiyi belirler. Kara ve su piksellerini tam olarak tanımlamadan ve dalgaboyu düzeltilmesini gerçekleştirmeden önce, TOA yansımalarının atmosferik gazlar (NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O ve O<sub>3</sub>) tarafından emilimi için düzeltilmesi gerekir. Nitrojendioksit, ozon ve oksijen tarafından emilimi meteorolojik veya iklimsel verilere dayanıyorsa, H<sub>2</sub>O emilimini daha iyi düzeltmek için ilk olarak piksel ışık yolu boyunca atmosferdeki toplam su buharı içeriğinin tahmini için belirli OLCI kanalları kullanılır.

#### **2.6.5.5 Merkezi dalga boyu düzeltmesi**

Merkezi dalga boyu düzeltmesinin amacı, görüş alanı boyunca belirli bir bandın sabit olmayan merkezi dalga boyu nedeniyle küçük ölçekli varyasyonlar için atmosfer üstü yansımalarını düzeltmektir. Düzeltme, sabit bir dalga boyu şemasına (örneğin: rayleigh saçılma düzeltmesi) bağlı düzeltmelerden sonra varyasyonlar ciddi bozulmalara neden olabileceği için bantların sadece programlanabilir bir alt kümesi için yapılır. Kara ve su yüzey tiplerine özgü bu bantların alt kümesi, dalga boyu ile yerel yansıma

varyasyonlarında düzgünlük sağlar ve komşu bantlar kullanılarak yansıma türevinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine izin verir.

### **2.6.5.6 Su buharı geri kazanımı**

Bir piksel üzerindeki "maksimum olasılık" su buharı sütunu,  $\rho_{900}/\rho_{885}$  oranının ışınımsal aktarım (RT (Radiative Transfer)) tabanlı simülasyonlarına karşılık gelen OLCI ölçümüyle karşılaştırılarak tahmin edilir. RT simülasyonları, önceden hesaplanmış LUT'larda depolanan, hassas atmosferik aktarımın ve saçılma-soğurma-etkileşim faktörünün bir tahmini ile yaklaşık olarak tahmin edilir. Optimizasyon, eğim alçalması ("newton-secant") yöntemi ile yapılır. Genellikle 1 ile 5 arası tekrarlama gerektirir.

Olası kara/okyanus sınıflandırması, saçılma-soğurma etkileşiminde düzeltme faktörünün hesaplanması için farklı LUT'lar arasından seçim yaparken kullanılır.

### **2.6.6 Okyanus işleme**

OLCI seviye-2 işlemenin bu kısmı, su piksellerini işlemeyi kapsar. İki ana göreve ayrılmıştır:

- Atmosferik düzeltme, kazanç sağlayan sudaki yansımalar ve bir yan ürün olarak onun üzerindeki aerosol yüküdür.
- Okyanus rengi işleme, su kütlesinin kendisini tanımlayan ürünler grubunun sudan ayrılan yansılardan türetilmiştir.

Atmosferik düzeltme iki yaklaşımı takip eder: Standart veya temel yaklaşım, atmosfer karakterizasyonu ve düzeltmeye ayrılmıştır. Diğer bir yaklaşım ise atmosferik parametrelerin ve sudan ayrılan yansımaların özel sinir ağları aracılığıyla tersine çevrildiği alternatif bir yaklaşımdır.

"Standart" veya "alternatif" atmosferik düzeltme seçimi, yardımcı veriler yoluyla yapılandırılabilen özel bir anahtar kullanılarak gerçekleştirilir. Mevcut işlevsel durum paraleldir.

Okyanus rengi işleme şunları içerir:

- OC4Me algoritmasından elde edilen klorofil konsantrasyonu, alglerin su optik özelliklerinin ana faktörü olan açık deniz durum 1 sularına odaklanmıştır.

➤ Bir sinir ağı kullanarak sudan ayrılan yansımadan türetilen, özellikle ilave bileşenlerin dikkate alınması gereken daha karmaşık durum 2 sularına odaklanan bir dizi biyojeofizik ürün vardır.

### 2.6.6.1 Temel atmosferik düzeltme

BAC (Baseline Atmospheric Correction) algoritması, okyanus rengine bağlı olmayan atmosfer üstü yansımasına yapılan tüm destekleri kaldırır. Bu, parıltı ve köpüklü dalga (Kırılan dalga tepelerinin kuvvetli rüzgar sonucu oluşturduğu etkidir.) efektinin düzeltilmesinin ardından atmosferik düzeltmeye izin vermek için aerosol tipinin ve yükünün tahmin edildiği anlamına gelir. Bu algoritma üç ana adıma bölünmüştür.

#### 1. Parıltı ve köpüklü dalga düzeltmesi

Parıltı yansıması, düşük parıltı eşiğiyle karşılaştırılır. Parıltı yansıması bu düşük parıltı eşiğinin altındaysa, bu piksel için parlama düzeltmesi uygulanmaz. Piksel parlaksa, buz veya yüksek aerosol yükü olarak işaretlenir ve daha fazla işlem yapılmaz. Parıltı yansıma oranı düşük parıltı eşiğinin üzerindeyse, parıltı yansıma oranı orta parıltı eşiğiyle karşılaştırılır. Parıltı yansıması, orta parıltı eşiğinin üzerindeyse, düzeltme uygulanmaz ve piksel, düzeltilmemiş güneş parlaması olarak işaretlenir. Parıltı yansıması orta parıltı eşiğinin altındaysa, orta parıltı bayrağı yükseltilir ve piksel parlama yansıması için düzeltilir.

#### 2. Durum 2 NIR (Near Infrared Reflectance) yansıma tahmini

Bu adım, başlangıçta kızıl ötesinde siyah olan berrak sular için tasarlanmış aerosol tahmin şemasıyla uyumlu olmak ve tortu yüklü sular için gereklidir. Öncelikli olarak tortulu durum 2 sularının tespiti radyometriye dayanır. Algoritma, suyun optik özelliklerine dayanmaktadır ve tortuların katkısı dahil tek saçılımlı aerosol yansıması ve sudaki yansımanın birleşimi ile tekrarlı bir işlem gerçekleştirir. Algoritma b709, b779, b865 ve b885'te ölçülen düzeltilmiş Rayleigh yansımaları modele en iyi şekilde yaklaşıma kadar tekrarlanır. Toplam askıya alınan maddenin tahmini tortu ağırlıklı durum 2 sularının özel bir bayrakla tanımlanmasına dahili olarak izin verir.

#### 3. Aerosol ve rayleigh düzeltmesi

Aerosol tipi ve yükü 779 ve 865 nm'de suyun bu kanallardaki bilinen katkıları NIR bantlarından tahmin edilir. Rayleigh (moleküler saçılma) katkısı, atmosferik

basıncındaki yerel varyasyonlar için düzeltilmiş ışınımsal transfer hesaplamalarının tablolanmış sonuçlarından belirlenir.

Aerosol tipi ve yükü, ölçülen verilere en uygun olan önceden tanımlanmış aerosol modelleri kümesini belirleyerek 865 nm'deki sinyal seviyesi ve 865 nm ile 779 nm arasındaki spektral eğim kullanılarak birlikte belirlenir. Daha sonra en yakın modellerin bir karışımı ölçümlerle tam olarak eşleşecek şekilde belirlenir ve düzeltme diğer tüm kanallarda aynı iki model ve karışımlar için tablolanmış değerler kullanılarak gerçekleştirilebilir.

### 2.6.6.2 Alternatif atmosferik düzeltme (sinir ağı)

Alternatif atmosferik düzeltme (AAC (Alternative Atmospheric Correction)), bir sinir ağı yaklaşımı kullanarak sudaki yansımaları ve atmosferik parametreleri sağlar.

Veriler, emici gazlar, dalga boyu etkisi ve gözlem geometrisi için düzeltilmiş atmosfer yansımalarının üstüdür. Ana amacı, bulanık ve yüksek düzeyde emici durum 2 suları ve güneş parıltısıyla etkilenmiş alanlar için atmosferik düzeltmeyi geliştirmektir. Durum 1 sularına da uygulanabilir.

### 2.6.6.3 OC4Me klorofil

Klorofil konsantrasyonu chl, "OC4Me" maksimum bant oranı (MBR (Maximum Band Range)) yarı analitik algoritması ile tanımlanır. MERIS pigment indeksi algoritmanın en son sürümüdür.

OC4Me, çeşitli okyanus bölgelerinde son on yılda yerinde ölçülen AOP'lerin (Advanced Oxidation Process (ileri oksidasyon prosesi)) analizine bağlı yarı analitik bir model kullanımına dayanan bir polinomdur. Şu şekilde ifade edilir (2.1):

$$\log_{10} [\text{Chl}] = \sum_{x=0}^4 (A_x \cdot (\log_{10}(R_j^i))^x) \quad (2.1)$$

OC4Me klorofil algoritması (ESA'dan alınmıştır. Url-10).

443, 490 ve 510 nm arasında i bandının 560 nm'de j bandına göre ışınma-yansıtma oranıdır. Savaş için bant, oran maksimize olacak şekilde seçilir. Hesaplama klorofil tahminine dayanan iki yönlü düzeltme gerektiren ve sudaki yansımadan gelen parlaklık yansıma hesaplamasını içeren tekrarlı bir döngüye yerleştirilmiştir. Ardışık iki chl tahmini arasındaki fark bir eşliğin altında olduğunda yakınsamaya ulaşılır.

#### 2.6.6.4 IMT (Inverse Modeling Techniques) sinir ağı

Ters modelleme tekniği (IMT), aşağıdaki verileri OLCI bantlarında normalleştirilmiş sudan ayrılan yansımadan tahmin etmek için bir ters ışınımsal aktarım modeli-sinir ağı (IRTM-NN) kullanır:

b400-b674, b709,  $\theta_s$ ,  $\theta_v$  ve  $\Delta\phi \log_{10}$

- Hümik asitlerin emilim katsayısı (kırıntılı madde)
- Fulvik asitlerin emilim katsayısı (gelbstoff maddesi)
- Alg pigmentinin emilim katsayısı (klorofil)
- Toplam askıya alınmış maddenin saçılma katsayısı
- Beyaz parçacıkların saçılma katsayısı

IMT, sudaki yansımanın karmaşık doğasını dikkate alır ve parametreleştirilmesi tekrarlı prosedürleri önler. Bu yaklaşımda çoklu doğrusal olmayan regresyon yöntemi, hesaplama süresinde yüksek bir azalmaya neden olur. Seviye-2 ürünlerinin operasyonel seri üretimi yeterince hızlıdır. Çoklu katsayıların dikkatli ve ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi gerekir. IRTM-NN (Inverse Radiative Transfer Modeling-Neural Net) prosedürü önceden programlanmıştır ve yalnızca veri girişi gerektirir. Bu algoritmanın veri çıktıları suya özgü optik özelliklerdir:

- Toplam geri saçılma katsayısı BBP443
- Toplam emilim katsayısı ATOT443
- Alg emilim katsayısı APH443
- Renkli aşınmış ve çözülmüş madde emilim katsayısı ADG443

Ayrıca su bileşenlerini elde etmek için kullanılır:

- Klorofil (Chl2) konsantrasyonu
- Toplam askıda madde (TSM (Total Suspended Matter)) konsantrasyonu

#### 2.6.6.5 Saydamlık ürünleri

Bu işlemin amacı, saydamlığı karakterize eden birkaç okyanus rengi ürününü, normalize edilmiş sudan ayrılan yansımaların spektrumundan türetmektir. Algılayıcı işleme tesisi (IPF (Instrument Processing Facility)) içindeki tek ürün,  $m^{-1}$  birimiyle ifade edilen 490 nm'deki yaygın zayıflama katsayısıdır .

Algoritma saf deniz suyu  $K_w(490)$  için yaygın zayıflama katsayısı değerinin toplamı ve suyun biyolojik durumuna bağlı olarak türetilmiştir. OC4Me klorofil geri alma algoritmasına çok benzer bir şekilde, log dönüşümünde 490 nm ve 560 nm arasındaki ışıma-yansıtma oranının bir polinomu olarak ifade edilir (2.2). Aynı biyojeofizik yaklaşım kullanılarak türetildiği için, aynı geçerlilik alanına sahiptir.

$K_d(490) = K_w(490) + K_{bio}(490)$  ile  $\log_{10}(K_{bio}(490)) =$

$$\sum_{x=0}^4 \left( B_x \cdot \left( \log_{10} \left( \frac{R_{490}}{R_{560}} \right) \right)^x \right) \quad (2.2)$$

Saydamlık ürünleri algoritması (ESA'dan alınmıştır. Url-10).

### 2.6.6.6 PAR (Photosynthetically Active Radiation) ürünleri

Anlık fotosentetik mevcut radyasyon (PAR), tablolaştırılmış bir ilişki altında her bir su pikseli üzerindeki ışımadan türetilir. Belirli bir aydınlatma koşulu için, yani güneşin zenit açısı için, bu ışıma yalnızca atmosferin saydamlığı tarafından yönlendirilir. Ana soğurucu gazlar (ozon ve su buharı) ve aerosol saçılmasıyla iyi bir şekilde temsil edilir. Bu adım aerosol tanımlamasının başarısız olmadığı açık gökyüzünün tüm su piksellerine uygulanır.

PAR değeri, aerosol optik kalınlığının, aerosol angstrom üssünün, toplam ozon sütununun ve toplam su buharı sütununun bir fonksiyonu olarak zenitte güneş için PAR sağlayan bir tarama tablosunda çoklu doğrusal enterpolasyon ile elde edilir. Daha sonra, dikkate alınan pikselde güneş zenit açısının kosinüsü kullanılarak ölçeklenir.

### 2.6.7 Arazi işleme

Arazi işleme iki bölüme ayrılır:

- OLCI küresel bitki örtüsü indeksi
- OLCI karasal klorofil indeksi

#### 2.6.7.1 OLCI küresel bitki örtüsü indeksi (OGVI) (OLCI Global Vegetation Index)

OLCI küresel bitki örtüsü indeksini hesaplamadan önce, bitki örtüsüyle kaplı olmayan tüm pikselleri işaretlemek için her arazi pikselinde bir spektral test gerçekleştirilir. Bitkisel piksellerde OGVI, iki adımda tahmin edilir.

443 nm'de mavi bantta bulunan bilgiler 681 nm ve 865 nm'deki bantlarda bulunan bilgilerle birleştirilir. Bitki örtüsü izleme bu son iki dalga boyunda düzeltilmiş kanallar oluşturmak için kullanılır. Düzeltme, standart bir aydınlatma ve gözlem geometrisi altında kanopi üstünde ölçülecek olan bu düzeltilmiş kanallar ve spektral yansıma arasındaki farkı en aza indirecek şekilde gerçekleştirilir. Önerilen algoritma, polinomların oranlarının hem düzeltilmiş kanalları hem de son spektral indeksi (OGVI) oluşturmak için uygun olduğunu varsayar.

OGVI sağlıklı, canlı, yeşil bitki örtüsünün yeryüzündeki varlığını değerlendirmek için optimize edilmiştir. Optimizasyon prosedürü, indeksin çok çeşitli uygulamalarda kullanılması beklenmesine rağmen, bitki kanopisinde absorbe edilen fotosentetik olarak aktif radyasyon fraksiyonu (FAPAR) için bir tahmin sağlamak üzere sınırlandırılmıştır.

#### **2.6.7.2 OLCI karasal klorofil indeksi (OTCI) (OLCI Terrestrial Chlorophyll Index)**

OLCI karasal klorofil indeksi, otvi.nc dosyasında bulunan ana değişkendir.

OLCI karasal klorofil indeksi, Sentinel-3 misyonundaki OLCI verilerinden kara için küresel olarak 300 m mekansal çözünürlükte üretilir ve MERIS verilerinden türetilen MERIS karasal klorofil indeksinin bir devamı olarak tasarlanmıştır.

ENVISAT MERIS karasal klorofil indeksi (MTCI (MERIS Terrestrial Chlorophyll Index)), yansıma spektrumlarının kırmızı kenar bölgesindeki yansımayı kullanarak klorofil içeriğinin bir tahminiyle bitki örtüsü durumunu izlemek için tasarlanmıştır. Kırmızı ve yakın kızıl ötesi dalga bantlarında yansıyan güneş radyasyonu arasındaki normalleştirilmiş farka dayanan klasik bitki örtüsü indekslerinin aksine MTCI, dalga boyu arttıkça soğurmanın önemli ölçüde düştüğü kızıla kaymayı kullanır. Kızıla kaymanın kullanılması, MTCI ürününün klasik bitki örtüsü indekslerini doyuracak yüksek klorofil içeriğine duyarlı kalmasını sağlar. OTCI, MTCI'ye benzer bir klorofil indeksidir ve şu şekilde tanımlanır:

$$OTCI = \frac{R_{band12} - R_{band11}}{R_{band11} - R_{band10}} \quad (2.3)$$

OTCI tanım (ESA'dan alınmıştır. Url-10).

$R_{band12}$ ,  $R_{band11}$ ,  $R_{band10}$ , 753 nm, 709 nm ve 681 nm'de ortalanan bantlardaki yansımalarıdır (2.3).

Anlamsız değerlerden ve sayısal problemlerden kaçınmak için, giriş spektrumları öncelikle bulutlar, su ve bitkisiz kara yüzeyleri için taranır. Daha sonra bazı basit spektral testler hesaplanır. Ürünün beklenen doğruluğunda bu işlem sırasında tahmin edilir ve rayleigh düzeltmesi OTCI parametresi hesaplanmadan önce uygulanır.

### 2.6.8 Seviye-2 ürün tanımı

**Çizelge 2.11 : Tüm OLCI seviye-2 parametrelerinin tanımı.**

Ürün Adı	Parametre Adı
Deniz ve karasal su ürünleri	
OLCI sudaki yansıma (16 bant)	Rxxx
OLCI suya özgü optik özellikler	
- CDM (Colored Dissolved Matter) emilim katsayısı	ADG443
OLCI okyanus rengi ürünleri	
- Alg pigment konsantrasyonu	CHL
- Toplam askıdaki madde konsantrasyonu	TSM
- Yaygın zayıflama katsayısı	KD490
OLCI atmosfer yan ürünleri	
- Fotosentetik olarak aktif radyasyon	PAR
- Aerosol optik derinliği	T865
- Aerosol angstrom üssü	A865
- Entegre su buharı sütunu	IWV
Yüzey ürünleri	
- OLCI küresel bitki örtüsü indeksi ve düzeltilmiş yansımalar	OGVI, RC681, RC865
- OLCI karasal klorofil indeksi	OTCI
Atmosfer yan ürünleri	
- OLCI entegre su buharı sütunu	IWV

Seviye-2 işlemede, belirli bir piksel için ürün çıktısı, pikselin bulut, su veya arazi olarak tanımlanmasına bağlıdır. Bulutlu pikseller atılırken, hem su hem de kara pikselleri belirli işlemlerden geçer. Bu açıdan Sentinel-3 ile MERIS arasındaki temel fark, her üründe sağlanacak hataların tahmin edilmesidir. İki tür ürün ayırt edilmelidir: Su parametreleri için OL\_2\_WFR/OL\_2\_WRR, kara parametreleri için OL\_2\_LFR/OL\_2\_LRR sırayıyla tam ve düşürülmüş çözünürlükte elde edilir. Seviye-2 parametrelerinin tanımı Çizelge 2.11'de görülmektedir.

Tüm OLCI seviye-2 ürünleri netCDF ürün dosyalarında özetlenmiştir. Bu dosyalar, safe formatının gerektirdiği ek bilgilerle birlikte bir safe kapsayıcıda toplanır. Tüm alanlar, kısa veya uzun tamsayı değişken dizileri baytta saklanır. Her değişken, değişken adının daha uzun açıklayıcı bir sürümünü tanımlayan bir dizi ek değişken özniteliğine ve uygun olduğu durumlarda birimlerin, uzaklığın, ölçek faktörünün, maksimum ve minimum geçerli değerlerin ve eksik verilerin yerine kullanılacak bir değere sahiptir.

#### **2.6.8.1 Okyanus ürünleri**

Bu ürün OL\_2\_WFR/OL\_2\_WRR sırasıyla tam ve düşürülmüş çözünürlük için aşağıdakileri içeren 24 ölçüm dosyasından oluşur:

- Atmosferik gaz (Oa13, Oa14, Oa15, Oa19 ve Oa20) emiliminin ölçümüne ayrılmış olanlar hariç tüm bantlar için sudaki yansımayı içeren yansıtma dosyalarıdır (16 dosya).
- OC4Me klorofil konsantrasyonu dosyasıdır.
- Klorofil konsantrasyonu sinir ağı dosyasıdır.
- Toplam askıya alınmış madde konsantrasyonu sinir ağı dosyasıdır.
- Şeffaflık ürünleri dosyasıdır.
- Suyu özgü optik özelliklerin sinir ağı dosyasıdır.
- Fotosentetik olarak aktif radyasyon (PAR) dosyasıdır.
- Su üzerindeki aerosol dosyasıdır.
- Su üzerindeki entegre su buharı dosyasıdır.

Okyanus ürünlerinin adı ve açıklaması Çizelge 2.12'de verilmiştir.

**Çizelge 2.12 : Okyanus ürünleri.**

Eleman Adı	Açıklama
manifest.safe	SENTINEL-SAFE ürün bildirimini
Oa ## _reflektans.nc	OLCI kazanç bantları için yansıtma, emilme bantları hariç (Oa13, Oa14, Oa15, Oa19 ve Oa20)
chl_oc4me.nc	OC4Me algoritmasına göre hesaplanan klorofil konsantrasyonu
chl_nn.nc	Case2R algoritmasına göre hesaplanan klorofil konsantrasyonu
tsm_nn.nc	Toplam askıya alınan madde
transparency.nc	Suyun şeffaflık özellikleri
iop_nn.nc	Suyun doğal optik özellikleri
par.nc	Fotosentetik aktif radyasyon
w_aer.nc	Su üzerindeki aerosol
iww.nc	Su üzerindeki entegre su buharı
time_coordinates.nc	Zaman damgası ek açıklamaları
geo_coordinates.nc	Yüksek çözünürlüklü coğrafi referans verisi
wqsf.nc	Su kalitesi ve teknik işaretler
tie_geo_coordinates.nc	Düşük çözünürlüklü coğrafi referans verisi
tie_geometries.nc	Güneş ve görüş açıları
tie_meteo.nc	ECMWF meteoroloji verisi
instrument_data.nc	OLCI algılayıcı verisi

### **2.6.8.2 Sudaki yansıma**

Atmosferik gaz (Oa13, Oa14, Oa15, Oa19 ve Oa20) emiliminin ölçümüne ayrılmış olanlar dışındaki tüm bantlar için sudaki yansıma hesaplanır. Bu, deniz yansımasının toplam 16 bant için sağlanacağı ve her bir bantın Oa#\_reflectance.nc dosyasına dahil edileceği anlamına gelir (# bant numarasını temsil eder).

Çizelge 2.13 kapsama alanı, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve ilgili üründe kullanılan bantlar dahil olmak üzere sudan ayrılan yansımanın temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veriler, işleme sırasında kullanılan değişkenleri verir ve yardımcı veri dosyalarında (ADF'ler) sağlanır.

**Çizelge 2.13 : Sudan ayrılan yansıma.**

ÜRÜN ADI	Normalize Edilmiş Sudaki Yansıma
PARAMETRE KİMLİĞİ	Rxxx , burada xxx , nm cinsinden bant dalga boyunu temsil eder.
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	Atmosfer emilim ölçümlerine ve ilgili hata tahminlerine ayrılmış olanlar hariç tüm OLCI kanallarında atmosfer ve güneş yansıması için düzeltilmiş yüzey yönlü yansıtıcılıktır.
<b>ÜRÜN PARAMETRELERİ</b>	
KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge
GECİKME	NRT, NTC
ÜNİTELER	Boyutsuz
ARALIK	0-0.2, son derece yüksek
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: 16 kanallı değişken
BİÇİM	2 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİLER	Hata tahmini (2 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık 17.4 GB (FR), 1.1 GB (RR)
<b>EK BİLGİ</b>	
GİRİŞ BANTLARI	Oa13, Oa14, Oa15, Oa19 ve Oa20 dışındaki tüm OLCI bantları
YAN VE YARDIMCI VERİLER	Aerosol modelleri, aerosol LUT'u, atmosferik yayılım geçirgenlikleri LUT'u, RT LUT'u (güneş zenit açısı, görüş zenit açısı, dalga boyu, aerosol optik kalınlık, gaz emilimi, klorofil konsantrasyonu).

### 2.6.8.3 CDM (Colored Dissolved Matter) soğurma katsayısı

CDM soğurma katsayısı, suyun doğal optik özelliklerini sağlayan iop\_nn.nc dosyasında bulunan ana değişkendir.

Çizelge 2.14, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

**Çizelge 2.14 : CDM soğurma katsayısı.**

ÜRÜN ADI	Renkli Çözünmüş Madde Emilimi
PARAMETRE KİMLİĞİ	ADG443_NN de 443, nm cinsinden bant dalga boyunu temsil eder ve _NN, başlangıç algoritmasını belirtir.
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	Renkli, kırıntılı ve çözünmüş materyalin Emilimi ve 443 nm'de ilgili hata tahminleridir.
<b>ÜRÜN PARAMETRELERİ</b>	
KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge
GECİKME	NRT, NTC
ÜNİTELER	m <sup>-1</sup>
ARALIK	-
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: 1 kanal
BİÇİM	1 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİLER	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)
<b>EK BİLGİ</b>	
GİRİŞ BANTLARI	Oa1 (400 nm) - Oa12 (753.5 nm), Oa16 (778.75 nm), Oa17 (865 nm), Oa21 (1020 nm)
YAN VE YARDIMCI VERİ	Sinir ağı katsayıları LUT

#### 2.6.8.4 Alg pigment konsantrasyonu

Alg pigment konsantrasyonu iki algoritmadan türetilebilir: OC4ME ve neural network. Türetilen konsantrasyonların her biri belirli bir dosyaya dahil edilir: Sırasıyla chl\_oc4me.nc ve chl\_nn.nc.

Çizelge 2.15, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenlerin ana özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında (ADF) temin edilir.

**Çizelge 2.15 : Alg pigment konsantrasyonu.**

ÜRÜN ADI	Alg Pigment Konsantrasyonu
PARAMETRE KİMLİĞİ	CHL_OC4Me, CHL_NN_OC4Me (_NN, kaynak algoritmayı ifade eder).
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	Klorofil-a konsantrasyonu ve ilgili hata tahminleridir.
<b>ÜRÜN PARAMETRELERİ</b>	
KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge
GECİKME	NRT, NTC
ÜNİTELER	mg (chl a) m <sup>-3</sup>
ARALIK	0.01 - 100 mg m <sup>-3</sup> (Durum 1 suları ile kısıtlandığında 0.01 - 30 arasında)
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1,2 km x 1,2 km; Spektral: Yok
BİÇİM	1 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİLER	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık. 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)

---

## EK BİLGİ

GİRİŞ BANTLARI	OC4Me: Oa3 (443 nm) ile Oa6 (560 nm) NN: Oa1 (400 nm)- Oa12 (753.5 nm), Oa16 (778.75 nm), Oa17 (865 nm), Oa21(1020 nm)
YAN VE YARDIMCI VERİLER	OC4Me: Önceden hesaplanmış f/Q tabloları, R tablosu, chl polinom katsayıları NN: Sinir ağı katsayıları LUT'u

---

### Çizelge 2.15 (devam) : Alg pigment konsantrasyonu.

#### 2.6.8.5 Toplam askıya alınmış madde miktarı

Toplam askıya alınmış madde konsantrasyonu, tsm\_nn.nc dosyasında bulunan ana değişkendir.

Çizelge 2.16, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

### Çizelge 2.16 : Toplam askıya alınmış madde miktarı.

---

ÜRÜN ADI	Toplam Askıya Alınmış Madde Konsantrasyonu
PARAMETRE KİMLİĞİ	TSM_NN ve TSM_GSM (_NN ve _GSM, kaynak algoritmayı ifade eder).
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	Toplam askıya alınmış madde konsantrasyonu ve ilgili hata tahminleridir.
ÜRÜN PARAMETRELERİ	
KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge
GECİKME	NRT, NTC
ÜNİTELER	g m <sup>-3</sup>
ARALIK	0-100
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: yok

---

BİÇİM	1 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİLER	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık. 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)
EK BİLGİ	
GİRİŞ BANTLARI	Oa1 (400 nm) - Oa12 (753.5 nm), Oa16 (778.75 nm), Oa17 (865 nm), Oa21 (1020 nm)
YAN VE YARDIMCI VERİLER	OC4Me: Önceden hesaplanmış f/Q tabloları, R tablosu NN: Sinir ağı katsayıları LUT'u

**Çizelge 2.16 (devam) :** Toplam askıya alınmış madde miktarı.

#### 2.6.8.6 Yaygın zayıflama katsayısı

Suyun saydamlık özelliklerini sağlayan transparency.nc dosyasında bulunan ana değişkendir .

Çizelge 2.17, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini sağlar. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

**Çizelge 2.17 :** Yaygın zayıflama katsayısı.

ÜRÜN ADI	Yaygın Zayıflama Katsayısı
PARAMETRE KİMLİĞİ	KD490_M07 ve KD490_L05 (_M07 ve _L05, başlangıç algoritmasını ifade eder).
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	490 nm'de ilgili hata tahminleri ve aşağı yayılan radyasyon için yaygın zayıflama katsayısıdır.
ÜRÜN PARAMETRELERİ	
KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge
GECİKME	NRT, NTC

ÜNİTELER	m <sup>-1</sup>
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: Yok
BİÇİM	1 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİLER	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)
<b>EK BİLGİ</b>	
GİRİŞ BANTLARI	Oa4 (490 nm) ve Oa6 (560 nm)

**Çizelge 2.17 (devam) : Yaygın zayıflama katsayısı.**

#### **2.6.8.7 Fotosentetik olarak aktif radyasyon**

Fotosentetik olarak aktif radyasyon, par.nc dosyasında bulunan ana değişkendir .

Çizelge 2.18, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini sağlar. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

**Çizelge 2.18 : Fotosentetik olarak aktif radyasyon.**

ÜRÜN ADI	Fotosentetik Olarak Aktif Radyasyon
PARAMETRE KİMLİĞİ	PAR
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	400 nm-700 nm spektral aralıkta güneşten kuantum enerji akışı ve ilgili hata tahminleridir.
<b>ÜRÜN PARAMETRELERİ</b>	

KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge
GECİKME	NRT (Yakın Gerçek Zaman, (Near Reel Time)), NTC (Önemli Olmayan Zaman (Non Time Critical))
ÜNİTELER	$\mu\text{Einstein.m}^{-2}$
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 mx 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: Yok
BİÇİM	1 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİ	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)

**Çizelge 2.18 (devam) : Fotosentetik olarak aktif radyasyon.**

#### 2.6.8.8 Aerosol optik derinliği

Aerosol optik derinliği, w\_aer.nc dosyasında bulunan değişkenlerden biridir. Diğeri ise aerosol angström üssüdür.

Çizelge 2.19, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

**Çizelge 2.19 : Aerosol optik derinliği.**

ÜRÜN ADI	Aerosol Optik Derinliği
PARAMETRE KİMLİĞİ	T865
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	Aerosol yükü ilişkili hata tahminleri ve belirli bir dalga boyunda (865 nm) optik derinlikte ifade edilir.
<b>ÜRÜN PARAMETRELERİ</b>	

KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge
GECİKME	NRT, NTC
ÜNİTELER	Boyutsuz
ARALIK	0-0.6
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: Yok
BİÇİM	1 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİLER	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)
<b>EK BİLGİ</b>	
GİRİŞ BANTLARI	Oa5 (510 nm), Oa16 (779 nm), Oa17 (865 nm)

**Çizelge 2.19 (devam) : Aerosol optik derinliği.**

### 2.6.8.9 Aerosol angstrom üssü

Aerosol angstrom üssü, w\_aer.nc dosyasında bulunan değişkenlerden biridir. Diğeri ise aerosol optik derinliğidir.

Çizelge 2.20, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

**Çizelge 2.20 : Aerosol angstrom üssü.**

ÜRÜN ADI	Aerosol Angstrom Üssü
PARAMETRE KİMLİĞİ	A865
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	779 nm ile 865 nm arasında aerosol optik derinliğinin spektral bağımlılığı ve ilgili hata tahminleridir.

---

### ÜRÜN PARAMETRELERİ

KAPSAM	Küresel
GECİKME	NRT, NTC
AMBALAJ	Yarım yörünge
ÜNİTELER	Boyutsuz
ARALIK	-0.5-2.5
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: Yok
BİÇİM	1 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİLER	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)
EK BİLGİ	
GİRİŞ BANTLARI	Oa5 (510 nm), Oa16 (779 nm), Oa17 (865 nm)

---

**Çizelge 2.20 (devam) : Aerosol angstrom üssü.**

#### 2.6.8.10 Su üzerinde bütünleşmiş su buharı sütunu

Su üzerinde bütünleşmiş su buharı sütunu, iwv.nc dosyasında bulunan ana değişkendir.

Çizelge 2.21, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarından temin edilir.

**Çizelge 2.21 : Su üzerinde bütünleşmiş su buharı sütunu.**

---

ÜRÜN ADI	Deniz Üzerinde Bütünleşmiş Su Buharı Sütunu
PARAMETRE KİMLİĞİ	IWV
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	Bir atmosfer sütununa entegre edilmiş su buharının toplam miktarı ve ilgili hata tahminleridir.

---

ÜRÜN PARAMETRELERİ	
KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge
GECİKME	NRT, NTC
ÜNİTELER	kg m <sup>-2</sup>
ARALIK	1-70
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: Yok
BİÇİM%	2 bayt
EKLENEN VERİLER	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)
EK BİLGİ	
GİRİŞ BANTLARI	Oa18 (885 nm), Oa19 (900 nm)
YAN VE YARDIMCI VERİLER	Polinomial LUT : Aydınlatma /görüş açısı, yüzey tipi, aerosol optik derinliği.

**Çizelge 2.21 (devam) :** Su üzerinde bütünleşmiş su buharı sütunu.

#### 2.6.8.11 Okyanus kalitesi ve bilimsel işaretler

Okyanus kalitesi ve bilimsel işaretler, wqsf.nc adlı özel bir açıklama dosyası tarafından sağlanır.

Çizelge 2.22, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyaları tarafından temin edilir.

**Çizelge 2.22 : Okyanus kalitesi ve bilimsel işaretler.**

İşaret Adı	Su sınıflandırması, kalite ve bilimsel işaretlerin tanımı
Sınıflandırma ve Kalite İşaretleri	
INVALID	Geçersiz işaret: Alet verileri eksik veya geçersiz
WATER	Açık gökyüzü su
LAND	Açık gökyüzü kara
CLOUD	Bulutlu piksel
CLOUD_AMBIGUOUS	Potansiyel olarak bulutlu pikseller
CLOUD_MARGIN	FR'de 4 piksel RR'de 2 piksel ürünlerinin CLOUD ve CLOUD_AMBIGUOUS çevresinde bir kenar boşluğu
SNOW_ICE	Olası deniz buzu veya kar etkisi
INLAND_WATER	Temiz karasal sular işareti: Seviye-1'e bağlı olarak land_water işareti
TIDAL	Sığ su işareti: Seviye-1'e bağlı olarak land_water işareti
COSMETIC	Kozmetik işareti (seviye-1B'den): Enterpolasyonla doldurulan eksik veriler
OC4ME_FAIL	OC4Me algoritması başarısız oldu.
OCNN_FAIL	IMT NN algoritması başarısız oldu.
KDM_FAIL	KDM07 algoritması başarısız oldu.
KDL_FAIL	KDL05 algoritması başarısız oldu.
Bilimsel İşaretler	
BPAC_ON	BWAC çalıştırıldı ve denendi.
WHITE_SCATT	Su içinde "white" dağıtıcı işareti
LOWRW	(p'w (b, j, f) <R560MIN) veya HIINLD_F yükseltildi.
HIGHRW	560 nm veya CASE2_F'de yüksek RW arttırıldı.
ANNOT	Atmosferik düzeltmenin kalitesi için açıklama işareti
RWNEG	Sudaki her bir yansıma yasağı için "negatif sudaki yansıma" işareti sağlar.

## 2.6.9 Arazi ürünleri

Arazi ürünü OL\_2\_LFR/OL\_2\_LRR sırasıyla tam ve düşürülmüş çözünürlük için aşağıdakileri içeren üç ölçüm dosyasından oluşur:

- OLCI küresel bitki örtüsü indeksi dosyası
- Karasal klorofil indeksi dosyası
- Su üzerinde bütünleşmiş su buharı dosyası

Ürün okyanus ürününe benzer bir açıklama dosyası da içerir. İki istisna, su kalitesi ve bilimsel işaretlere ayrılmıştır. Arazi ürünleri kalite ve bilimsel işaretler dosyası kanopi yansımalarının zirvesine iyi bir temsilci olan atmosferik ve açılal etkilerden büyük ölçüde arındırılmış sanal yansıtıcılar olan kırmızı ve NIR düzeltilmiş yansıtıcıları içeren düzeltilmiş yansıma dosyasıyla değiştirilir.

### 2.6.9.1 Küresel bitki örtüsü indeksi (FaPAR)

OLCI global bitki örtüsü indeksi, ogvi.nc dosyasında bulunan ana değişkendir .

Çizelge 2.23, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

**Çizelge 2.23 : Küresel bitki örtüsü indeksi.**

ÜRÜN ADI	OLCI Küresel Bitki Örtüsü İndeksi (FaPAR)
PARAMETRE KİMLİĞİ	OGVI
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	Bitki örtüsünde absorbe edilen fotosentetik olarak aktif radyasyonun bölümü (FAPAR)
ÜRÜN PARAMETRELERİ	
KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge
GECİKME	NRT, NTC
ÜNİTELER	Boyutsuz

ARALIK	0-1
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: yok
BİÇİM	1 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİ	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)
<b>EK BİLGİ</b>	
GİRİŞ BANTLARI	Oa3 (443 nm), Oa10 (681 nm), Oa17 (865 nm)
YAN VE YARDIMCI VERİ	Aydınlatma/görüş açıları

**Çizelge 2.23 (devam) : Küresel bitki örtüsü indeksi.**

#### 2.6.9.2 Düzeltilmiş yansıma

Düzeltilmiş yansımalar rc\_ogvi.nc adlı belirli bir ek açıklama dosyasında sağlanır .

Çizelge 2.24, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

**Çizelge 2.24 : Düzeltilmiş yansıma.**

ÜRÜN ADI	Düzeltilmiş Yansıma
PARAMETRE KİMLİĞİ	RC681, RC865
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	OGVI'nin yan ürünleri, kırmızı ve NIR düzeltilmiş yansımalar, atmosferik ve açısal etkilerden büyük ölçüde arındırılmış sanal yansıma ve kanopi yansımalarının zirvesine iyi bir temsilcidir.
<b>ÜRÜN PARAMETRELERİ</b>	
KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge

GECİKME	NRT, NTC
ÜNİTELER	Boyutsuz
ARALIK	0-1
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: 2 kanallı değişken
BİÇİM	2 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİ	Hata tahmini (2 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık. 2.2 GB (FR), 139 MB (RR)
EK BİLGİ	
GİRİŞ BANTLARI	Oa10 (681 nm), Oa17 (779 nm)

**Çizelge 2.24 (devam) : Düzeltilmiş yansıma.**

### 2.6.9.3 OLCI karasal klorofil indeksi dosyası

Çizelge 2.25, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

**Çizelge 2.25 : OLCI karasal klorofil indeksi dosyası.**

ÜRÜN ADI	OLCI Karasal Klorofil İndeksi
PARAMETRE KİMLİĞİ	OTCI
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	Karasal bitki örtüsündeki klorofil içeriği tahminleridir (Vejetasyon durumunu ve sağlığını izlemeyi amaçlar.).
ÜRÜN PARAMETRELERİ	
KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge

GECİKME	NRT, NTC
ÜNİTELER	Boyutsuz
ARALIK	-
ÖRNEKLEME	Mekansal: 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: yok
BİÇİM	1 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİLER	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)

**Çizelge 2.25 (devam) : OLCI karasal klorofil indeksi dosyası.**

#### **2.6.9.4 Kara ürünleri kalite ve bilimsel işaretler**

Arazi kalitesi ve bilimsel işaretler, belirli açıklamalarla lqsf.nc dosyasıyla sağlanır.

Çizelge 2.26, ilgili üründe kullanılan kapsam, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

**Çizelge 2.26 : Kara ürünleri kalite ve bilimsel işaretler.**

İşaret Adı	İşaret Açıklama
Sınıflandırma ve Kalite İşaretleri	
INVALID	Geçersiz işaret: alet verileri eksik veya geçersiz
WATER	Açık gökyüzü su
LAND	Açık gökyüzü kara
CLOUD	Bulutlu piksel
CLOUD_AMBIGUOUS	Potansiyel olarak bulutlu pikseller
CLOUD_MARGIN	FR'de 4 piksel RR'de 2 piksel ürünlerinin CLOUD ve CLOUD_AMBIGUOUS çevresinde bir kenar boşluğu

SNOW_ICE	Olası deniz buzu veya kar etkisi
INLAND_WATER	Temiz karasal sular işareti: Seviye-1'e bağlı olarak land_water işareti
TIDAL	Sığ su işareti: Seviye-1'e bağlı olarak land_water işareti
COSMETIC	Kozmetik işareti (seviye-1B'den): Enterpolasyonla doldurulan eksik veriler
SUSPECT	Şüpheli işaret (seviye-1B'den): İletim hataları ve ölçümlerin güvenilirmez olabileceği anlamına gelir.
HISOLZEN	Zenit Açısı: 70°
SATURATED	Doygunluk işareti: 400 nm ila 754 nm arasında herhangi bir bant içinde veya 779 nm, 865 nm, 885 nm ve 1020 nm bantlarında doymuştur.
WVFAIL	Kara üzerindeki su buharı için türetilen şüpheli değerler
OGVI_FAIL	OGVI (FAPAR) için türetilen şüpheli değerler
OTCI_FAIL	OTCI için türetilen şüpheli değerler
Bilimsel İşaretler	
LRAYFAIL	Kara üzerinde rayleigh yansımasından türemiş sorunlar
OGVI_CLASS_BAD	OGVI spektral testlerinden hatalı veriler işareti
OGVI_CLASS_WS	OGVI spektral testlerinden su veya derin gölge işareti
OGVI_CLASS_CSI	OGVI spektral testlerinden bulut, kar veya buz işareti
OGVI_CLASS_BRIGHT	OGVI spektral testlerinden parlaklık işareti
OGVI_CLASS_INVALID_REC	Geçersiz düzeltme işareti
OTCI_CLASS_ANG	Görüş açısı işareti
OTCI_CLASS_CLSN	Bulut ve kar işareti

**Çizelge 2.26 (devam) : Kara ürünleri kalite ve bilimsel işaretler.**

### 2.6.9.5 Kara ürünleri kalitesi ve kara üzerindeki entegre su buharı sütunu

Kara üzerindeki entegre su buharı sütunu, iwn.nc dosyasında bulunan ana değişkendir.

Çizelge 2.27, ilgili ürünün kapsamı, parametre kimliği, zaman gecikmesi, örnekleme ve kullanılan bantlar dahil olmak üzere bu değişkenin temel özelliklerini verir. Yan ve yardımcı veri, işleme sırasında kullanılan değişkenleri sağlar ve yardımcı veri dosyalarında temin edilir.

**Çizelge 2.27 : Kara ürünleri kalitesi ve kara üzerindeki entegre su buharı sütunu.**

ÜRÜN ADI	Kara Üzerindeki Su Buharı İçeriği
PARAMETRE KİMLİĞİ	IWV
ÜRÜN SEVİYESİ	2
AÇIKLAMA	Bir atmosfer sütunu üzerine entegre edilmiş toplam su buharı miktarı ve ilgili hata tahminleridir.
ÜRÜN PARAMETRELERİ	
KAPSAM	Küresel
AMBALAJ	Yarım yörünge
GECİKME	NRT, NTC
BİRİMLER	kg.m <sup>-2</sup>
ARALIK	1-70
ÖRNEKLEME	Mekansal: Yaklaşık 300 m x 300 m (FR) ve 1.2 km x 1.2 km (RR); Spektral: Yok
BİÇİM	1 baytlık tam sayı
EKLENEN VERİLER	Hata tahmini (1 baytlık tam sayı)
SIKLIK	Yörünge başına 1 ürün
ÜRÜN BOYUTU	Yaklaşık 0.54 GB (FR), 35 MB (RR)
EK BİLGİ	
GİRİŞ BANTLARI	Oa18 (885 nm), Oa19 (900 nm)
YAN VE YARDIMCI VERİLER	Aydınlatma/görüş açıları Yüzey albedo eğimi LUT'u ECMWF (Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi) hava basıncı, rüzgar modülü

## 2.6.10 Seviye-2 adf

Tüm OLCI seviye-2 ADF'ler netCDF formatında yazılır ve OLCI seviye-2 işlemede birkaç adımda kullanılır. Seviye-2 ADF'ler Çizelge 2.28'deki gibidir.

**Çizelge 2.28 : Seviye-2 ADF'ler.**

Dosya	İç/Dış	Sağlayıcı	Biçim	ÜrünTipi PDGS
Kontrol Parametresi İşleme Dosyası	İç	ESL	netCDF 4	OL_2_WVP_AX
Ön İşleme Veri Dosyası	İç	ESL	netCDF 4	OL_2_ACP_AX
Su Buharı Veri Dosyası	İç	ESL	netCDF 4	OL_2_OCP_AX
Atmosferik Düzeltme Veri Dosyası	İç	ESL	netCDF 4	OL_2_VGP_AX
Okyanus Rengi Veri Dosyası	İç	ESL	netCDF 4	OL_2_CLI_AX
Bitki Örtüsü Veri Dosyası	İç	ESL	netCDF 4	OL_2_WVP_AX
İklim Bilimi Veri Dosyası	İç	ESL	netCDF 4	OL_2_ACP_AX

### 2.6.10.1 Kontrol parametrelerinin işlenmesi

Her işleme modu için bir tane olmak üzere üç farklı kontrol parametresi işleme dosyası vardır.

Dünya gözlem modunda kullanılan OLCI seviye-1 kontrol parametresi işleme dosyası aşağıdaki bilgileri içerir:

- İşleme anahtarları, kaçak ışık ve doğrusal olmayan düzeltmeleri etkinleştirme/devre dışı bırakma verileridir.
- İşleme anahtarları, karanlık akım (boş akım) hesaplama yöntemini seçme verileridir.
- Kaçak ışık düzeltme parametreleri bilgisidir.

### 2.6.10.2 Ortak işleme parametreleri

OLCI seviye-2 işlemenin başlangıcındaki ortak işleme adımlarında üç farklı yardımcı veri dosyası (ADF) kullanılır.

1. OLCI seviye-2 ön işleme veri dosyası ( OL\_2\_PPP\_AX), piksel sınıflandırma adımında kullanılan parametreleri içerir. Veriler üç gruba ayrılmıştır:

- Sınıflandırma 1, bulut/kar/buz sınıflandırmasına ayrılmış parametreler sağlar.
- Sınıflandırma 2, birleştirilmiş arazi/su sınıflandırma parametreleri sağlar.
- Gaz düzeltme, gaz düzeltme bölümünde kullanılan parametreleri sağlar.

2. OLCI seviye-2 su buharı veri dosyası (OL\_2\_WVP\_AX), su buharı geri alma adımında kullanılan parametreleri içerir. Temel yüzeyin parlaklığına bağlı olarak iki farklı algoritma uygulanır ve diferansiyel absorpsiyon yöntemine dayanır. Her iki algoritma da işlemeyi hızlandırmak için LUT'lar kullanılarak uygulanır. Bu ADF, okyanus ve arazi durumları için, saçılma düzeltme faktörü, yüzey albedosu ve optik kalınlık katsayıları ile ilgili birkaç parametre sağlar.

3. OLCI seviye-2 klimatoloji veri dosyası (OL\_2\_CLP\_AX), işleme zincirinin farklı adımlarında kullanılan birkaç klimatoloji haritası içerir. Bu ADF'ye dahil edilen farklı LUT'lar, 510 nm'de ortalama olarak sudaki yansıma oranını veya 510 nm'de sudaki yansıma değişkenliğini vererek klimatoloji ihtiyacını karşılar. NO<sub>2</sub> konsantrasyonu, deniz yüzey tuzluluğu ve deniz yüzey sıcaklığı haritaları da dahildir.

### 2.6.10.3 Okyanus işleme parametreleri

Okyanus işlemeye ayrılmış belirli OLCI seviye-2 bölümünde iki farklı yardımcı veri dosyası kullanılır:

- OLCI seviye-2 atmosferik düzeltme veri dosyası atmosferik düzeltme aşamasında kullanılan parametreleri içerir. Bu veriler dört gruba ayrılmıştır:
  - Parlak ve köpüklü dalgaları düzeltme parametreleridir.
  - Durum 2 NIR yansıma tahmini parametreleridir.
  - Standart algoritma için atmosfer düzeltme parametreleridir.
  - Alternatif algoritma için atmosfer düzeltme parametreleridir.

➤ OLCI seviye-2 okyanus rengi veri dosyası okyanus rengi algoritmaları adımımda kullanılan parametreleri içerir. ADF tarafından sağlanan ana parametre, durum 1 suları için tamamen normalleştirilmiş sudaki yansımayı ve fotosentetik olarak aktif radyasyon değerini hesaplamak için kullanılan çift yönlü faktördür.

#### **2.6.10.4 Arazi işleme parametreleri**

Arazi işleme için ayrılmış belirli OLCI seviye-2 bölümünde bir yardımcı veri dosyası (ADF) kullanılır:

➤ OLCI seviye-2 bitki örtüsü veri dosyası bitki örtüsü indeksini geri alma adımımda kullanılan parametreleri içermektedir. Bu ADF'nin amacı, OLCI küresel bitki örtüsü indeksi (OGVI) hesaplamasında kullanılan her bant ve her yüzey türü için gerekli OGVI katsayılarını (K, theta ve const\_rho) sağlamaktır. Eşik ve uç değerler ADF'de sağlanır.

#### **2.7 Sentinel-3A ve Sentinel-3B Analizi**

Sentinel-3 hergün aynı ekvator geçiş zamanında küresel gözlemler sağlamak ve gereksinimleri karşılamak için yörüngede 140° faz ayrımı ile uçan iki özdeş uydu içerir. Bunlar Sentinel-3A ve Sentinel-3B'dir. Sentinel-3A uydusu Sentinel-3B yazılırken piyasaya sürüldü ve yerine Sentinel-3C ve Sentinel-3D uyduları gelişimlerini tamamlamaktadır (Lamquin ve diğ, 2020).

Her iki uydu aynı yörünge yer rotasında yalnızca 30 saniye aralıklarla uçtuğu özel bir tandem kalibrasyonuna sahiptir. Bu durum okyanus ve atmosfer değişkenliğinin etkisini sınırlar ve aynı geometrik koşullara sahip aynı hedefler üzerinden kazanımlar sağlar. Bu tandem fazı ölçümlerin tutarlı olmasını sağlamak için iki uyduyu çok doğru bir şekilde kalibre etmeye olanak sağlar. Zamanla, deniz seviyesinin yükselmesi, okyanus yüzey sıcaklığının artması veya fitoplankton dağılımındaki değişiklikler gibi iklim değişikliklerinin etkilerini incelemek için güvenilir ölçüm kayıtları oluşturmaya imkan sağlar.

ESA destekli bir proje olan Sentinel-3 Tandem for Climate (S3TC), tandem aşamasında elde edilen verileri kullanarak uydular arası tutarsızlıkları, farklılıkları ve belirsizlikleri ayrıntılı bir şekilde anlamayı amaçlayan, ESA tarafından finanse edilen bir çalışmadır. ACRI-ST liderliğindeki şirketler ve araştırma enstitülerinden oluşan bir konsorsiyum tarafından gerçekleştirilmiştir (Url-12).

Bu proje Sentinel-3A ve Sentinel-3B yükleri için homojenleştirme ve uyumlaştırma metodolojisinin sonuçlarına dayanır. Homojenleştirme önce iki sensörün hafif spektral ve uzaysal farklılıklarını ayarlar. Tandem faz sırasında elde edilen homojenleştirilmiş 21 yansımanın karşılaştırılması iki sensör arasında %1 ila %2'lik radyometrik sapmalara neden olur. Bunun sonucu olarak Sentinel-3A'nın, Sentinel-3B'den daha parlak olduğu gözlemlenmiştir. (Lamquin ve diğ, 2020).

OLCI'de her bir bant kendine özel uygulamasına bağlı bir hassasiyetle tasarlandığı için yüksek ışımaya duyarlılığındaki çoğu farklılık spektral bantlar arasında bulunur. Doygunluğun çok nadir meydana geldiği 412 nm'de (bant Oa02) bir referans bandı kabul edilir (Lamquin ve diğ, 2020). Sentinel-3A Sentinel-3B'den çok daha büyük bir doymuş piksel oranını gösterir. Bu durum uydular arasındaki parlaklıkla ilişkilidir ve radyometrik farkın algılama biriminden bağımsız olduğunu doğrulamaktadır.

Sentinel-3B geometrik ve radyometrik kalibrasyonları iyileştirmek ve Sentinel-3A radyometrisini Sentinel-3B'ye göre hizalamak amacıyla uydu verileri üzerinde özel bir yeniden işleme gerçekleştirir.

Sentinel-3A ve Sentinel-3B radyometreleri arasındaki ilk fark spektral farklılıklarda duyarlılığın en yüksek olduğu 400 nm'dir (Oa01). OLCI spektral aralığı üzerinde, Sentinel-3A ve Sentinel-3B arasında yaklaşık %1'lik bir fark değerlendirilir. Sentinel-3A mavi renkte yaklaşık %2'den NIR'de yaklaşık %1'e kadar Sentinel-3B'den daha parlaktır (Lamquin ve diğ, 2020).



### 3. METODOLOJİ

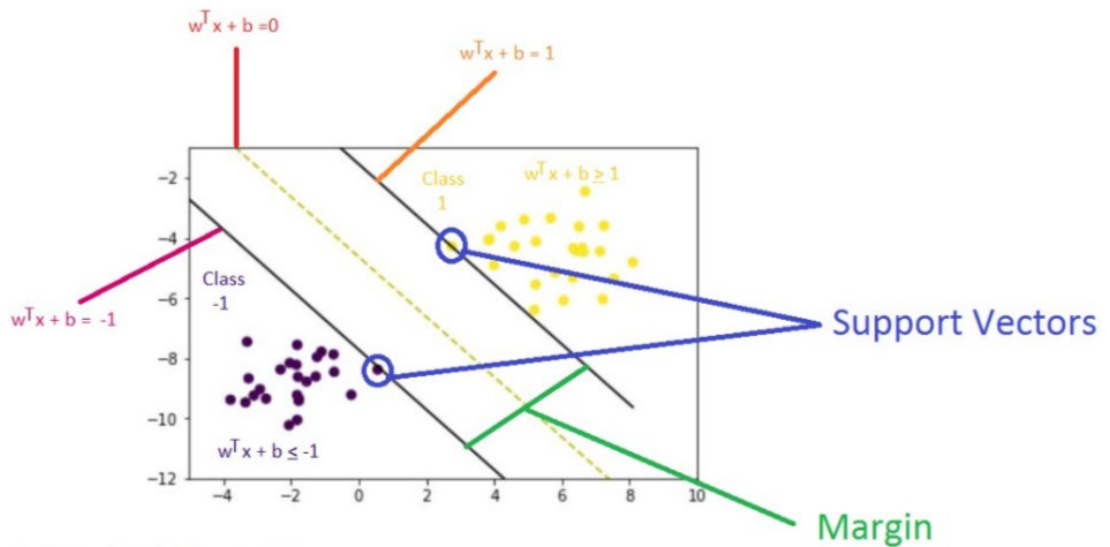
Yeryüzüne ait bilgilerin toplanması için yaygın olarak kullanılan yöntem uydu görüntülerinin sınıflandırılmasıdır. Temelde iki yaklaşım vardır. Bunlar kontrollü (supervised) ve kontrolsüz (unsupervised) sınıflandırma işlemleridir.

Kontrollü sınıflandırma kullanıcının görüntü üzerindeki homojen bölgelerden seçtiği örnek sınıflara göre algoritmanın uygulanması sonucu görüntünün istenen sınıflara ayrılmasıdır.

Kontrolsüz sınıflandırma görüntü üzerinde örnek sınıflandırma yapılmadan verinin kendi içindeki benzerliklerine göre spektral olarak ayrılabilen kümelerin oluşturulmasıdır.

Bu çalışmada kontrollü sınıflandırma yöntemlerinden biri olan destek vektör makinesi algoritması kullanılmıştır.

Destek vektör makinesi (support vector machine, SVM) uzaktan algılama çalışmalarında kullanılan bir algoritmadır. Bu algoritma ilk olarak iki sınıflı doğrusal verilerin sınıflandırılması için tasarlanmış olup daha sonra çok sınıflı doğrusal olmayan verilerin sınıflandırılması için genelleştirilmiştir. Farklı sınıflar arasında bir karar sınırı gibi olan hiperdüzlemi kullanarak verileri sınıflandırır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : SVM algoritmasının modeli (Url-13).

Destek vektör makinesinin avantajları :

- Yüksek boyutlu verilerde bile çok etkilidir.
- Özellik sayısının veri satırı sayısından fazla olduğu bir veri kümesinde de SVM uygulanabilir.
- Verideki sınıflar iyi ayrıldığında SVM iyi çalışır.
- Hem regresyon hem de sınıflandırma problemleri için kullanılabilir.
- SVM görüntü verileriyle de iyi çalışabilir.
- Yüksek doğruluk elde eder.
- Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan verileri etkili bir şekilde işler.

Destek vektör makinesinin dezavantajları :

- Verilerdeki sınıfların iyi ayrılmadığı durumlarda çakışan sınıflar varsa SVM iyi işlemez.
- SVM için en uygun çekirdek fonksiyonunu seçmek zordur.
- Büyük veri setinde SVM'nin çalıştırılması nispeten daha fazla zaman alır.
- Olasılıksal tahminler üretmez.
- SVM, karar ağacı modeline kıyasla daha karmaşık olduğu için SVM modelini anlamak ve yorumlamak zordur.

### 3.1 Çalışma Alanı

Bu araştırmada çalışma alanı olarak Marmara Denizi ve Karadeniz'in batısı seçilmiştir.

Bir iç deniz olan Marmara, Türkiye'nin Asya ve Avrupa kısımlarını birbirinden ayırır. Marmara'nın en derin yeri 1238 m'dir. Kıta sahanlığı geniştir. İstanbul Boğazı ile Karadeniz'e, Çanakkale Boğazı ile de Ege Denizi'ne bağlanır. Marmara kıyılarının uzunluğu 1275 km'dir (Url-14).

Yüzey sularının besin maddesi konsantrasyonu Karadeniz kaynaklı suların katkısıyla sonbahar sonu ve ilkbahar ortasında ayrıca Marmara Denizi'ne dikey olarak karışan Akdeniz kaynaklı derin suların su girişi ile artar. (Balcı ve Balkıs, 2016).



### 3.2 Tuna Nehri'nin Karadeniz ve Marmara ile İlişkisi

Tuna Almanya'nın güneyinde Kara Orman bölgesinde Donaueschingen kasabasında Brigach ve Breg nehirlerinin birleşmesiyle oluşan nehirdir (Url-15). Şekil 3.3'te görüldüğü gibi nehir 10 ülkeyi katederek Karadeniz'e dökülmektedir.

Tuna Nehri'nin sürdürülebilir kullanımını ve yönetimini sağlama amaçlı girişimler tüm Tuna Nehri havzası üzerinde yetki sahibi olan Uluslararası Tuna Nehri Koruma Komisyonu (UTNKK) tarafından koordine edilmektedir (Avrupa Çevre Ajansı, Url-16).

Karadeniz'e taşınan karasal kaynaklı kirlenmelerin %75'i Tuna Nehri'nden kaynaklanmaktadır (Marmara Denizi Kirlilik Raporu, 2013). Nehirle gelen atıklar yoğun miktarda azot ve fosfor içermektedir. Tuna Nehri'nin akıntılarıyla kirlenen Karadeniz suları Marmara'ya dolmaktadır. Marmara Denizi'nde bol besinli olan üst tabaka alt tabakaya baskı yaparak oksijen azalmasına neden olur. Oksijensizlik kimyasal dengenin deforme olmasına yol açmaktadır. Bunun sonucu olarak da Karadeniz ve Marmara'nın ekolojik yapısı bozulur.

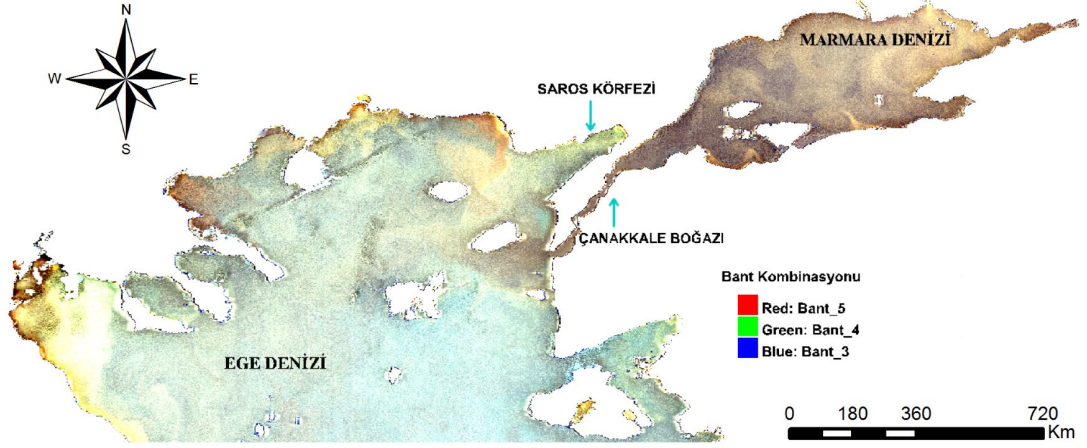


Şekil 3.3 : Tuna Nehri (Danube) ve Karadeniz (Black Sea) bağlantısının görünümü(Url-17).

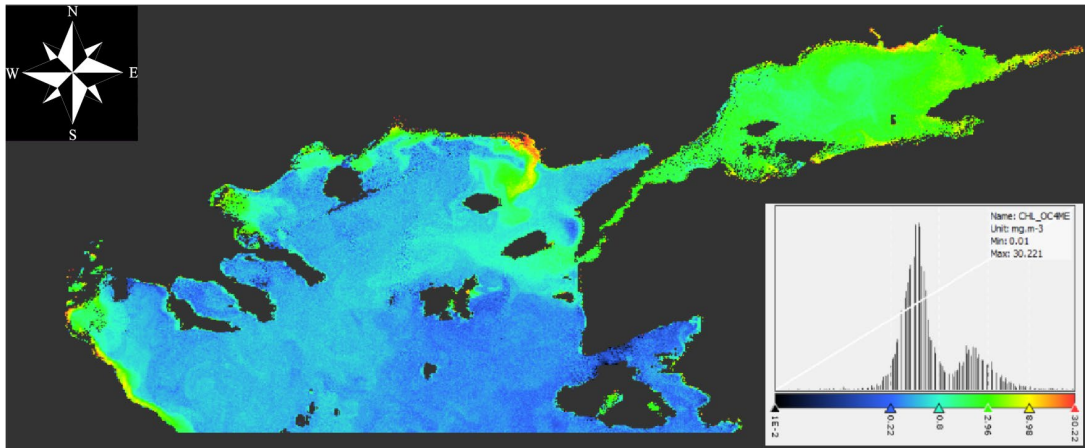
### 3.3 Sentinel-3 OLCI Görüntülerinin Sınıflandırılması

Marmara Denizi'nin ve Karadeniz'in Sentinel-3B OLCI algılayıcısının wfr (water full resolution) görüntüleri kullanılmıştır. ENVI görüntü işleme programında SVM yöntemi ile kontrollü sınıflandırma yapılarak Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde belirlenen su kalite sınıfları temel alınıp klorofil-a konsantrasyonuna göre sınıflara ayrılmıştır.

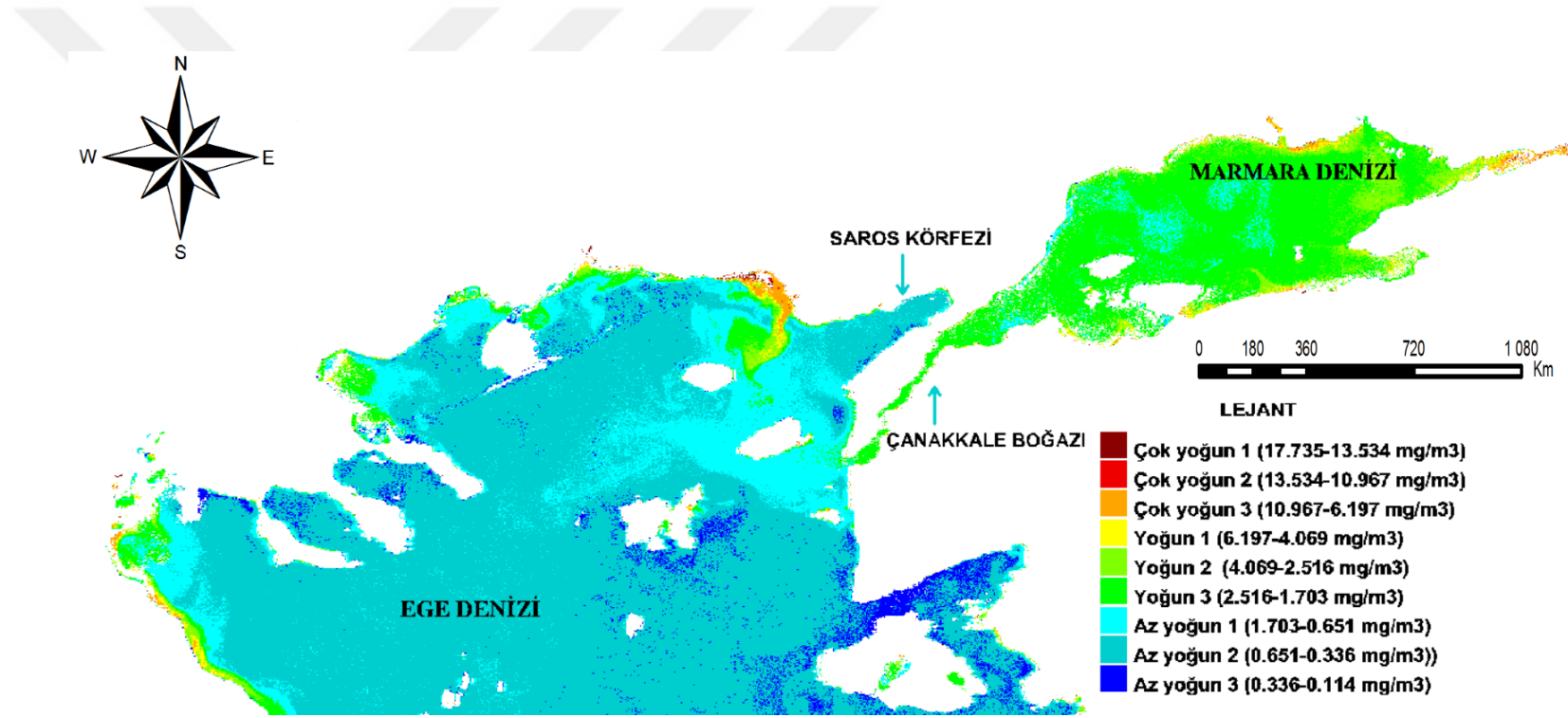
Lejant bilgisindeki yoğunluk aralıkları, MODIS algılayıcısından su (Aqua) alanları için elde edilen klorofil-a değerlerine göre oluşturulmuştur. MODIS algılayıcısında okyanus rengi hakkında bilgi içeren bantlar 8-16 bant aralığındadır. Klorofil-a konsantrasyonu için RGB (kırmızı, yeşil ve mavi) bantlarında sırasıyla 443 nm, 555 nm ve 670 nm dalga boylarına en yakın bantlar kullanılmıştır.



Şekil 3.4 : Marmara Denizi orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (17.04.2020).

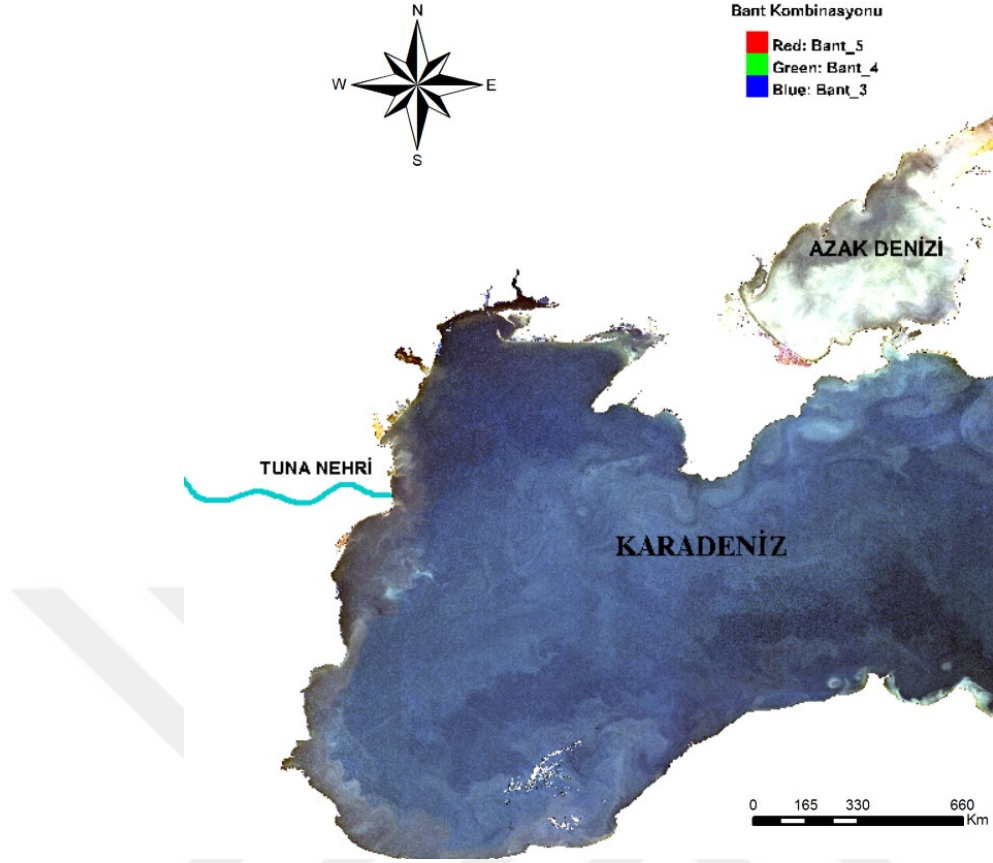


Şekil 3.5 : Marmara Denizi'nin klorofil-a dağılımı (17.04.2020).

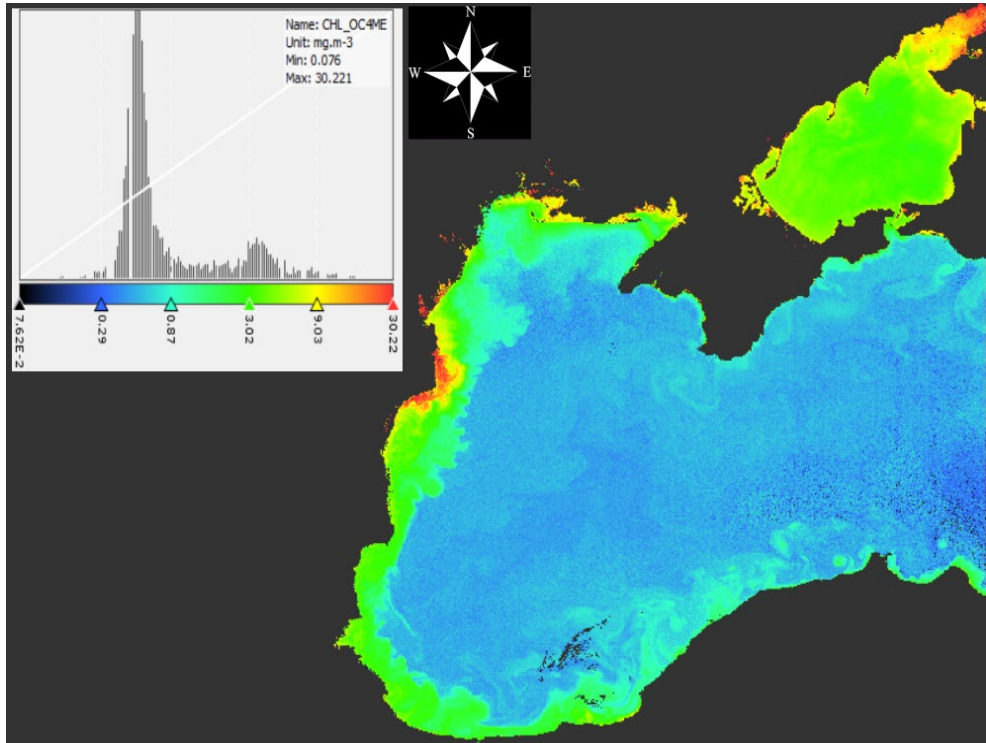


**Şekil 3.6 :** Marmara Denizi sınıflandırılmış uydu görüntüsü (17.04.2020).

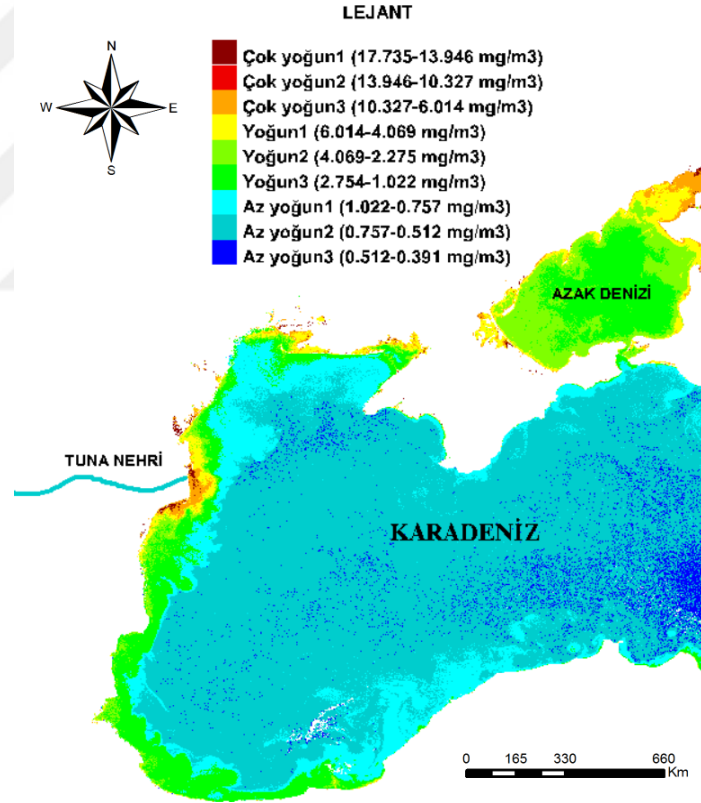
Marmara Denizi'nin 17.04.2020 tarihine ait multispektral uydu görüntüsü Şekil 3.4 ve klorofil-a dağılımı Şekil 3.5'te verilmiştir. Marmara Denizi'nin genel olarak klorofil-a yoğunluğu açısından orta dereceli bir yoğunluğa sahip olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.6). Çanakkale Boğazı'nın Marmara Denizi ile bağlantılı olmasıyla ilişkili olarak orta yoğunlukta, Ege Denizi'nin ise çoğunlukla az yoğun olmasıyla daha yüksek bir su kalitesine sahip olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 3.7 : Karadeniz orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (13.04.2020).

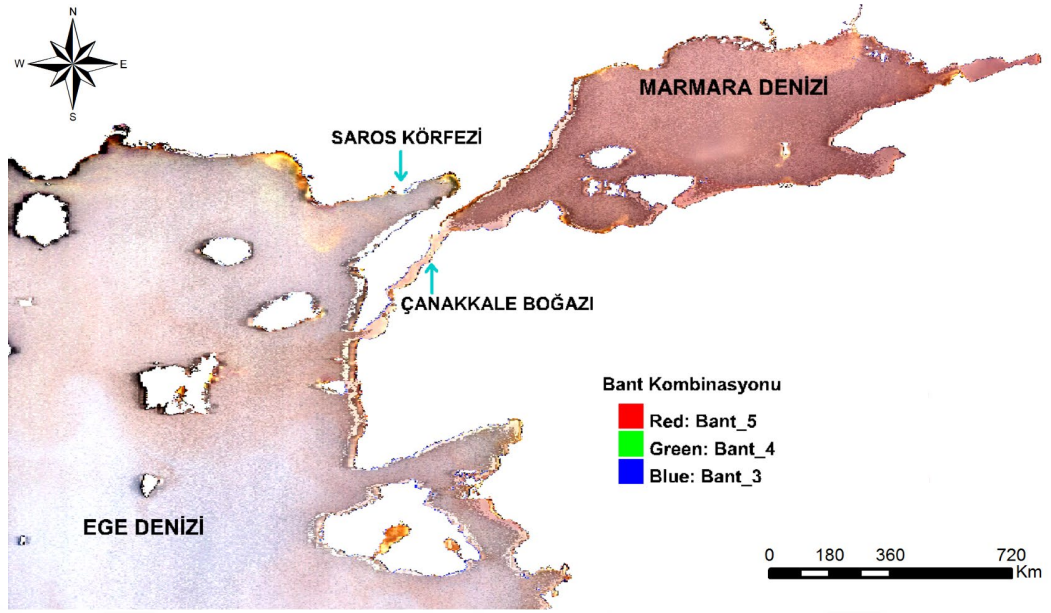


Şekil 3.8 : Karadeniz'in klorofil-a dağılımı (13.04.2020).

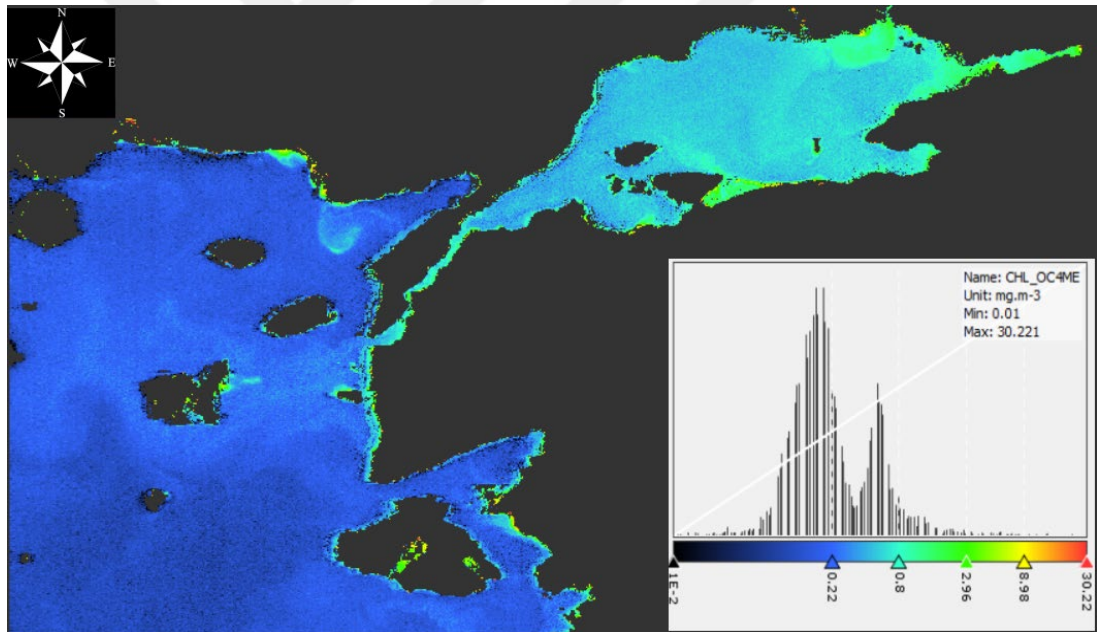


**Şekil 3.9 :** Karadeniz sınıflandırılmış uydu görüntüsü (13.04.2020).

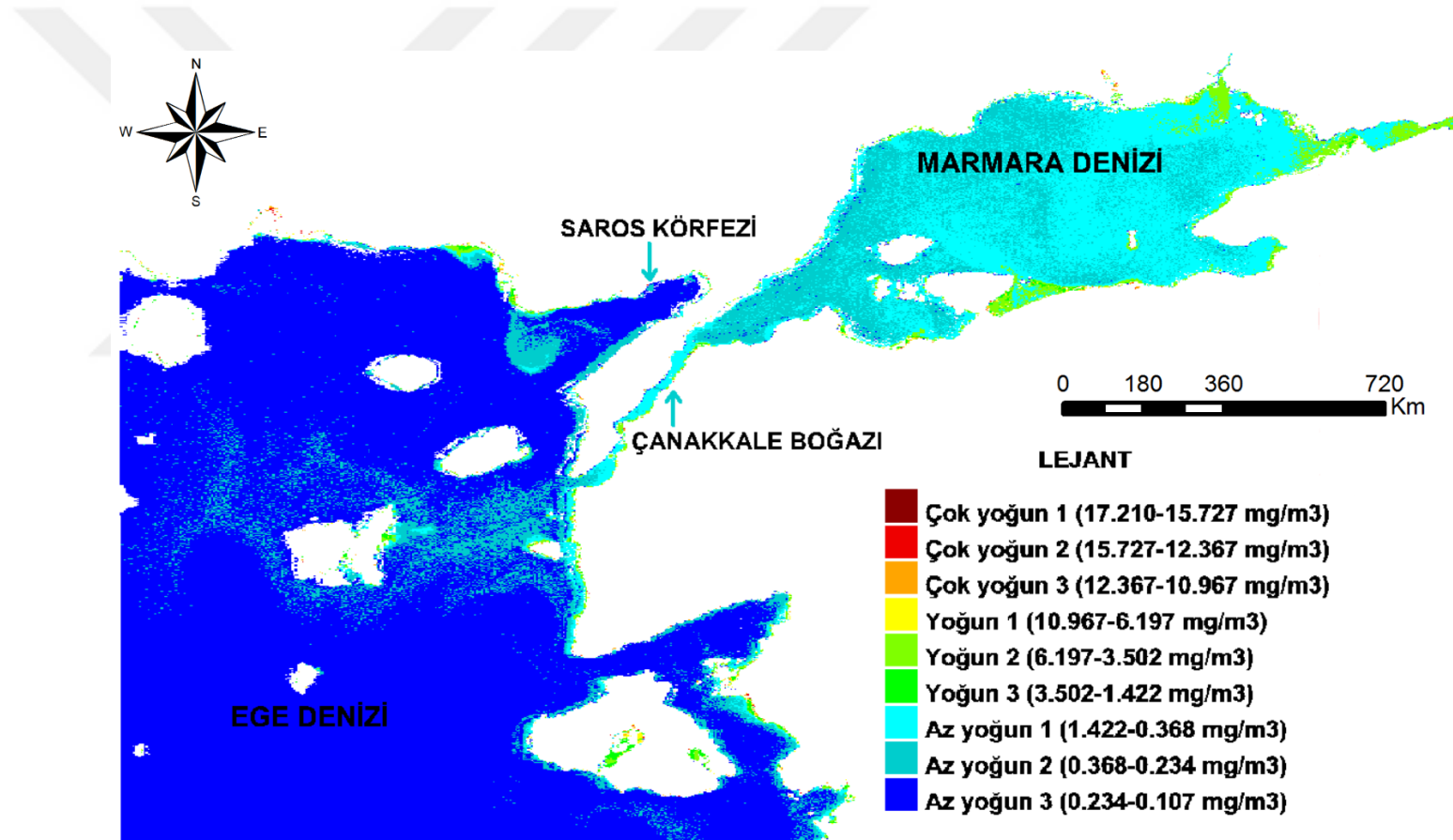
Karadeniz'in 13.04.2020 tarihine ait multispektral uydu görüntüsü Şekil 3.7'de ve klorofil-a dağılımı Şekil 3.8'de verilmiştir. Batı Karadeniz'in Tuna Nehri'nin akıntılarının etkisiyle yoğun klorofil-a derecesine sahip olduğu gözlemlenmiştir (Şekil3.9). En yoğun bölge Tuna Nehri ile Karadeniz bağlantısının olduğu yer olup, yoğunluk Karadeniz'in doğusuna doğru azalmaktadır.



Şekil 3.10 : Marmara Denizi orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (15.08.2020).

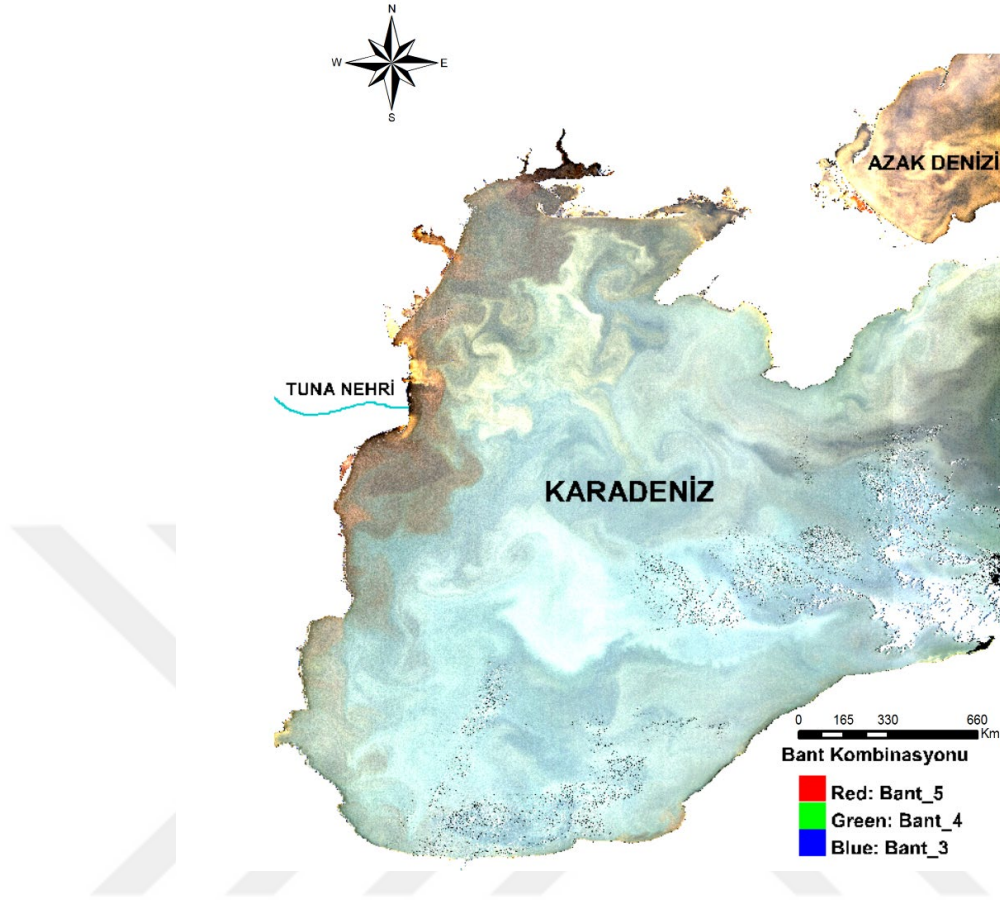


Şekil 3.11 : Marmara Denizi'nin klorofil-a dağılımı (15.08.2020).

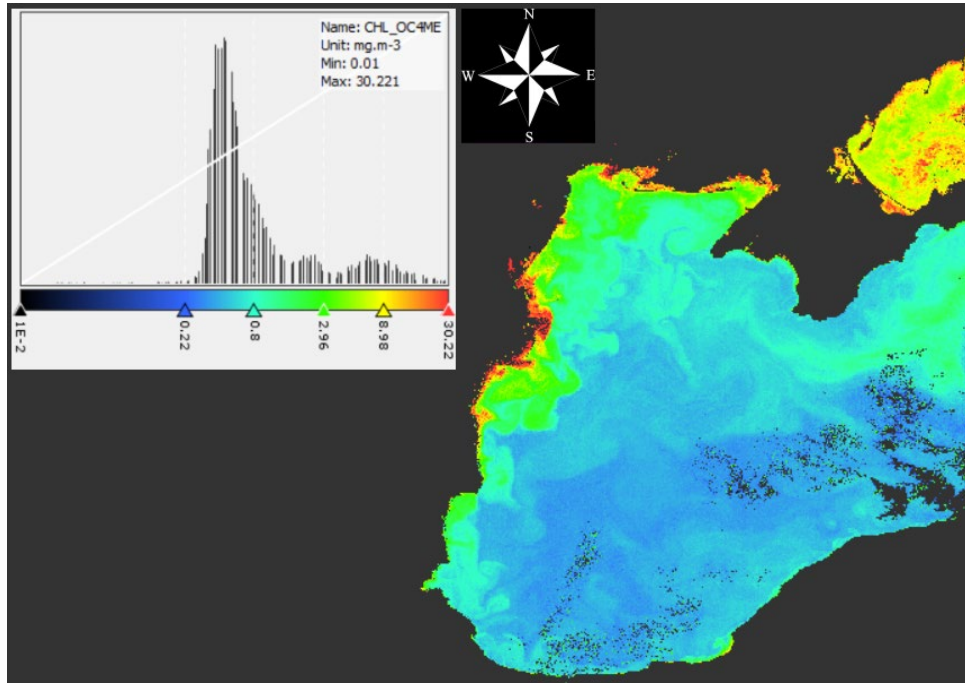


Şekil 3.12 : Marmara Denizi sınıflandırılmış uydu görüntüsü (15.08.2020).

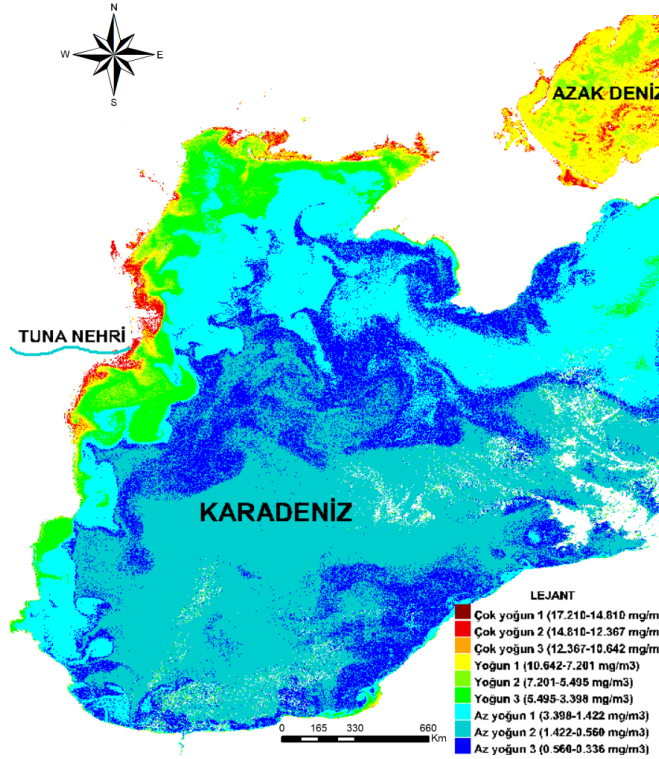
Marmara Denizi'nin 15.08.2020 tarihine ait multispektral uydu görüntüsü Şekil 3.10'da ve klorofil-a dağılımı Şekil 3.11'de verilmiştir. Marmara Denizi'nin genelinde klorofil-a içeriğinin az yoğun olmasıyla birlikte bazı kıyı bölgelerin nispeten daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3.12). Ege Denizi'nin nisan ayına kıyasla klorofil-a yoğunluğunun azalmasıyla su kalitesinin arttığı değerlendirilmiştir.



Şekil 3.13 : Karadeniz orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (30.07.2020).

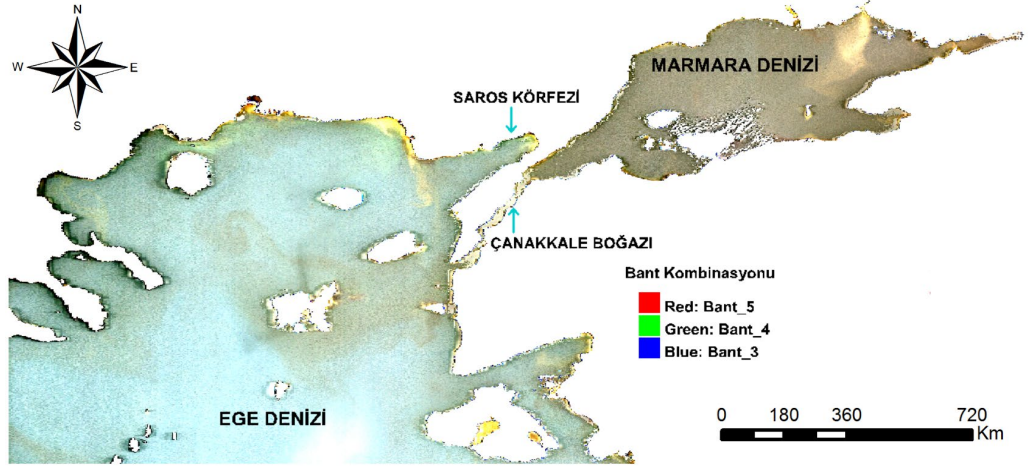


Şekil 3.14 : Karadeniz'in klorofil-a dağılımı (30.07.2020).

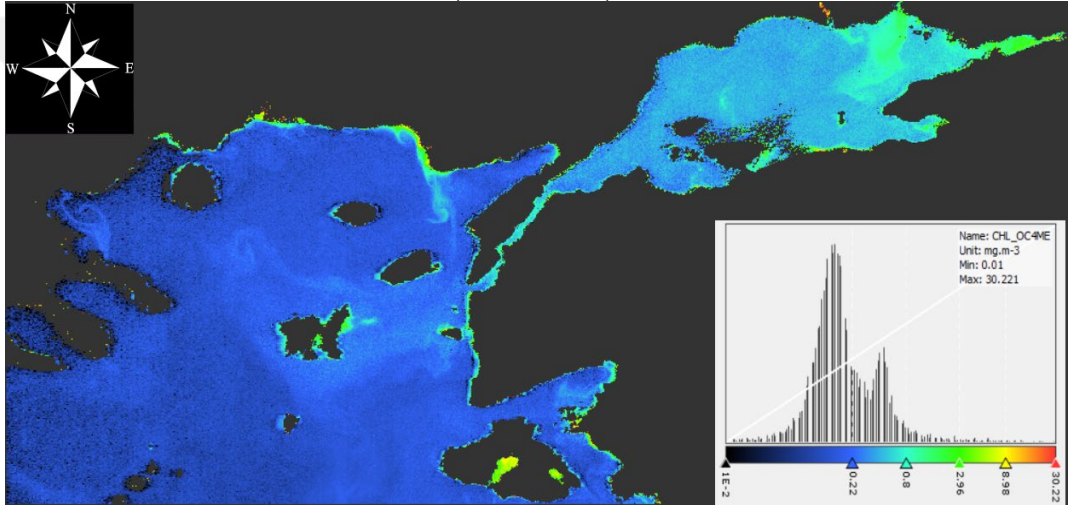


**Şekil 3.15 :** Karadeniz sınıflandırılmış uydu görüntü (30.07.2020).

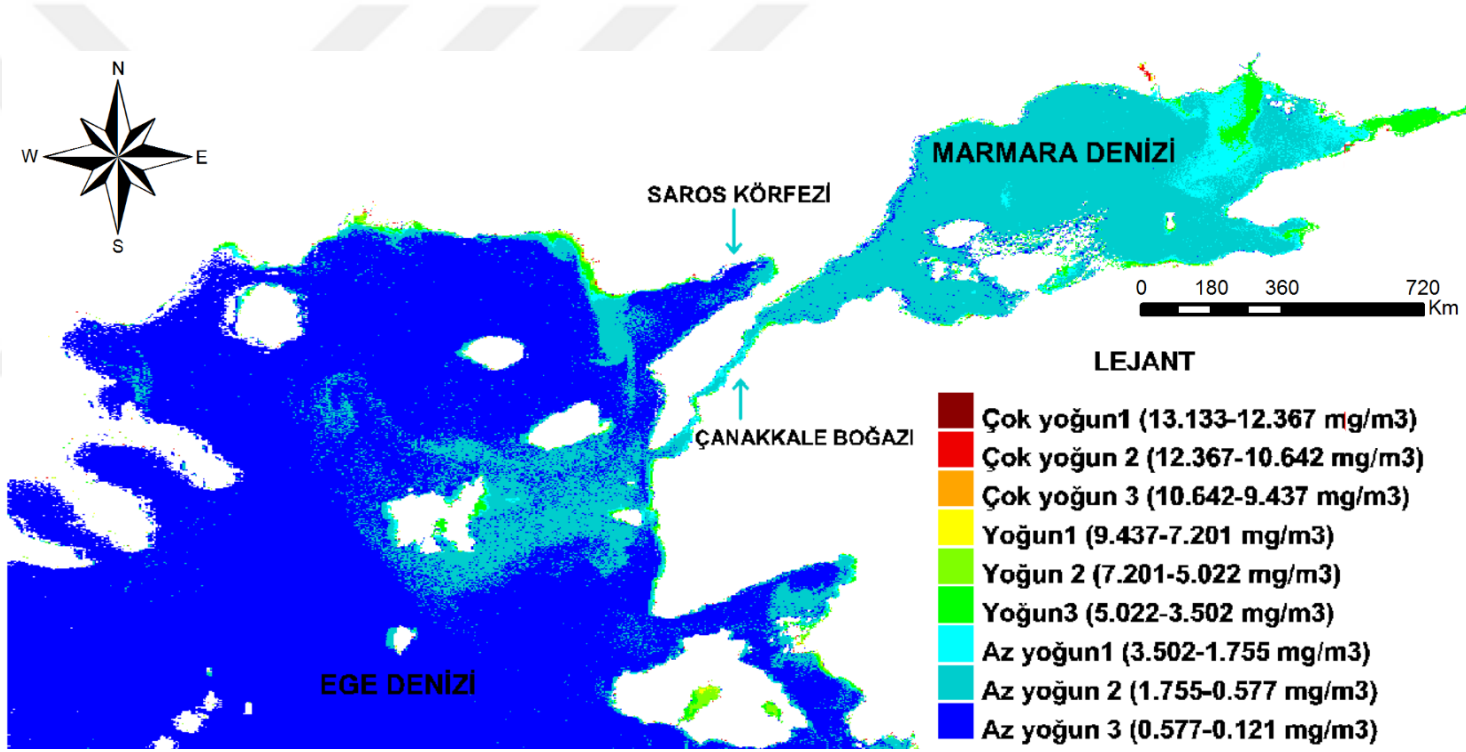
Karadeniz'in 30.07.2020 tarihine ait multispektral uydu görüntüsü Şekil 3.13'te ve klorofil-a dağılımı Şekil 3.14'te verilmiştir. Tuna Nehri'nin Karadeniz ile bağlantılı olduğu bölgenin klorofil-a içeriğinin çok yoğun olmasıyla birlikte Batı Karadeniz'in bazı bölgeleri ve kuzeye doğru yoğunluğun arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.15). Denizin doğusuna doğru yoğunluk miktarı azalmıştır. Az yoğun bölgelerde klorofil-a yoğunluğu düzensiz bir dağılım göstermiştir.



Şekil 3.16 : Marmara Denizi orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (07.09.2020).

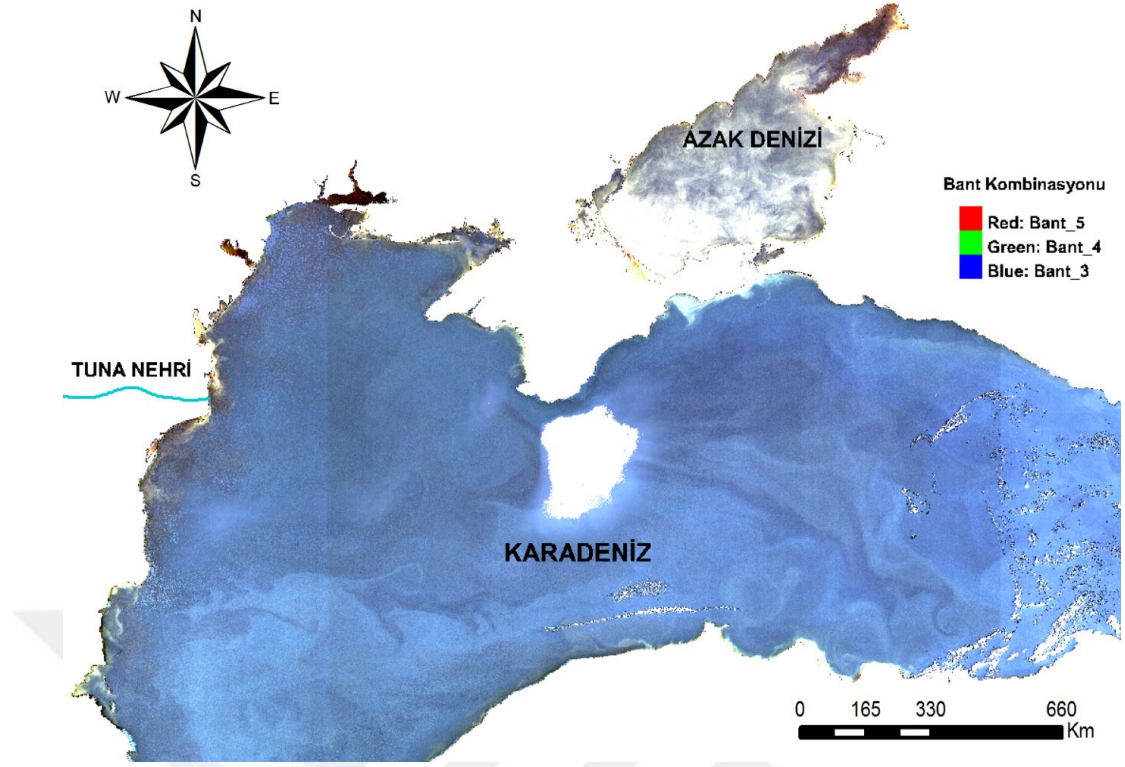


Şekil 3.17 : Marmara Denizi'nin klorofil-a dağılımı (07.09.2020)

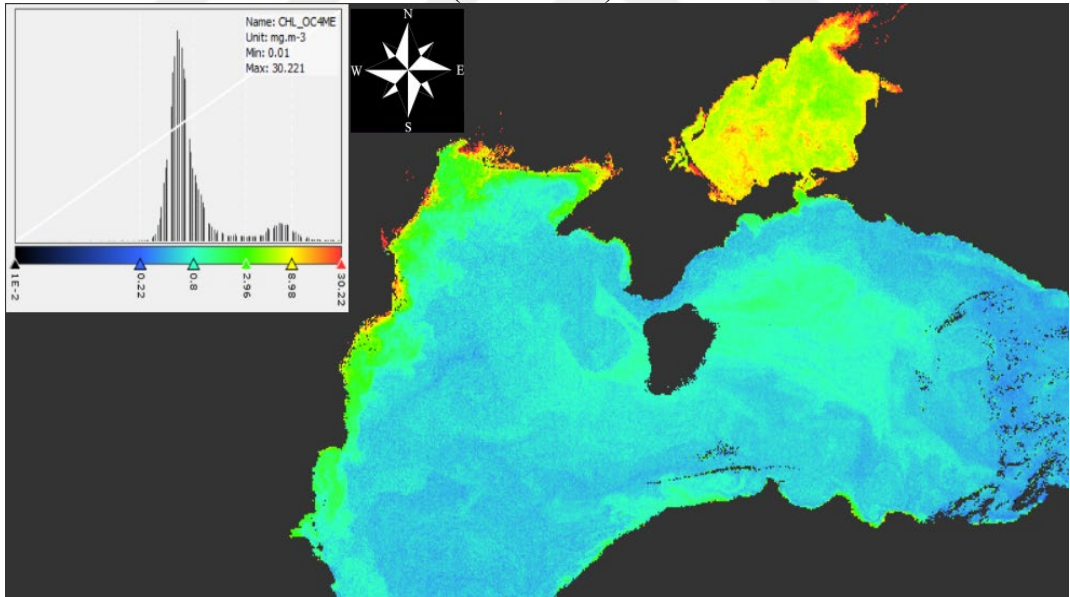


**Şekil 3.18** : Marmara Denizi sınıflandırılmış uydu görüntüsü (07.09.2020).

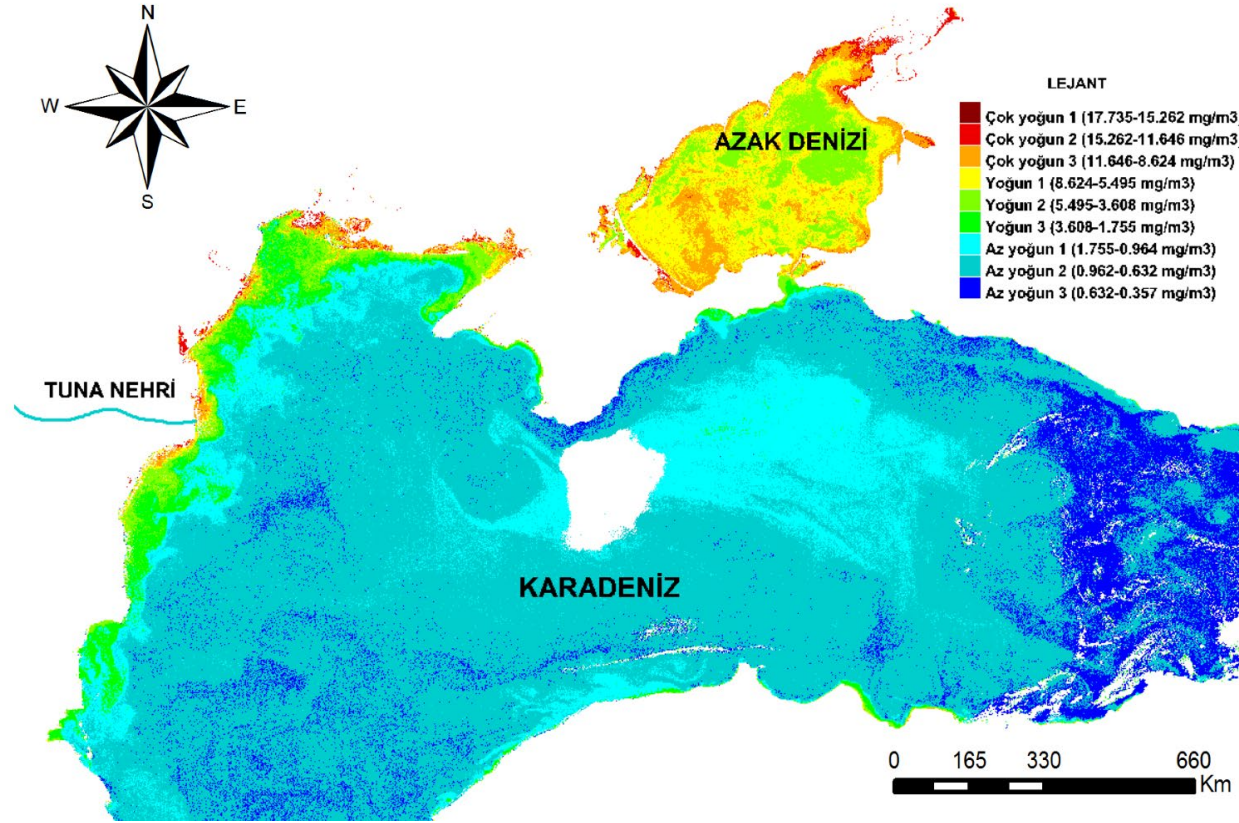
Marmara Denizi'nin 07.09.2020 tarihine ait multispektral uydu görüntüsü Şekil 3.16'da ve klorofil-a dağılımı Şekil 3.17'de verilmiştir. Marmara Denizi'nin klorofil-a içeriğinin az yoğun olduğu ve denizin doğu yönündeki bazı bölgelerde yoğunluğun arttığı görülmektedir (Şekil 3.18). Genel olarak Ege Denizi'ndeki klorofil-a yoğunluğunun Marmara Denizi'ne kıyasla daha az olmasıyla su kalitesinin daha yüksek olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 3.19 : Karadeniz orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (15.09.2020).

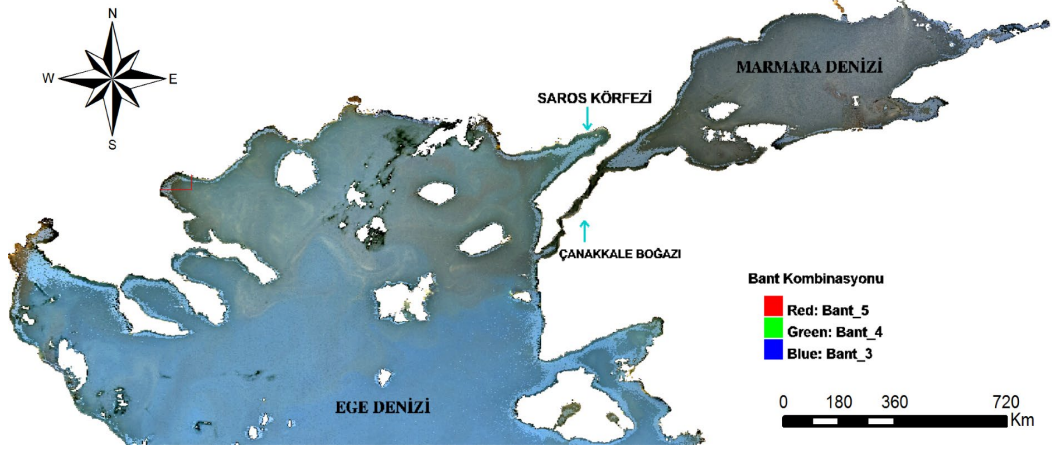


Şekil 3.20 : Karadeniz'in klorofil-a dağılımı (15.09.2020)

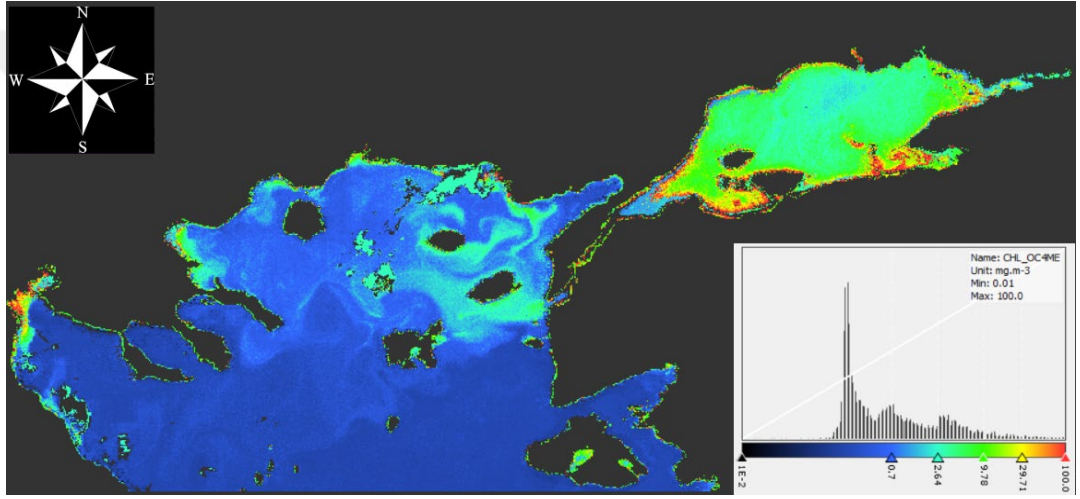


Şekil 3.21 : Karadeniz sınıflandırılmış uydu görüntüsü (15.09.2020).

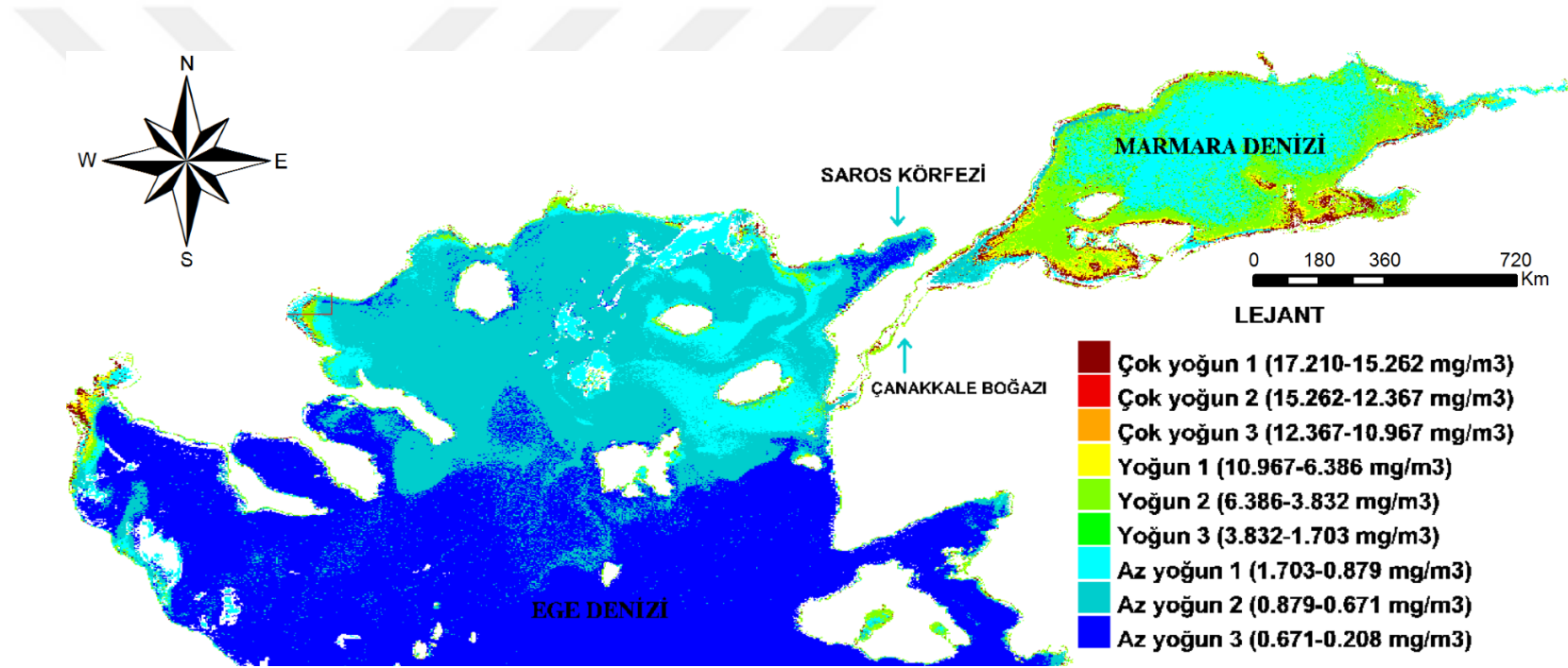
Karadeniz'in 15.09.2020 tarihine ait multispektral uydu görüntüsü Şekil 3.19'da ve klorofil-a dağılımı Şekil 3.20'de verilmiştir. Batı Karadeniz'in kıyı bölgelerinde ve kuzeye doğru klorofil-a içeriğinin yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 3.21). Karadeniz'in orta bölgelerinde az yoğun olan klorofil-a miktarının doğu yönüne doğru daha çok azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.22 : Marmara Denizi orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (30.04.2021).

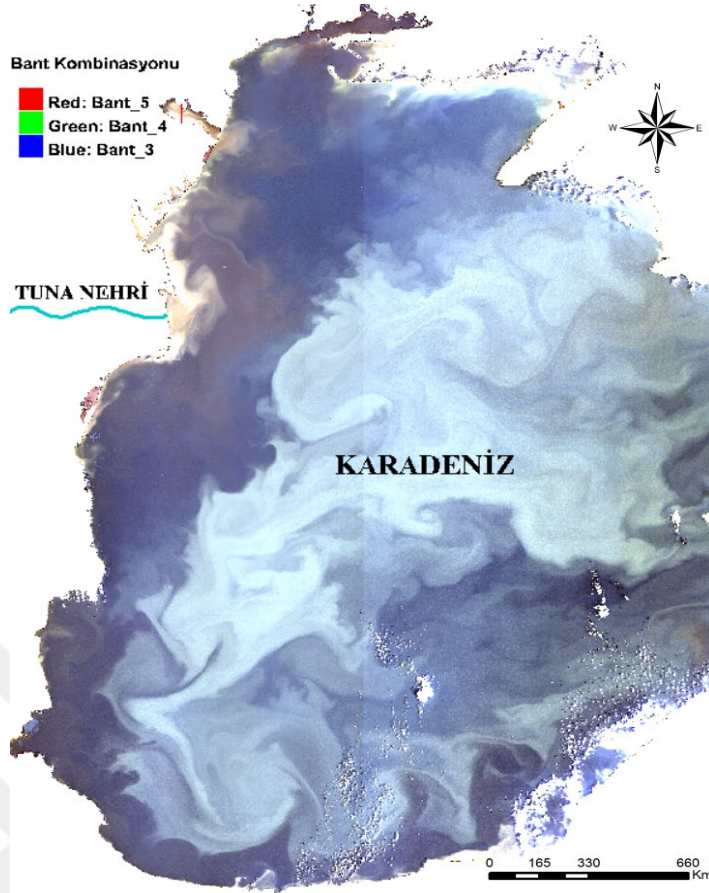


Şekil 3.23 : Marmara Denizi'nin klorofil-a dağılımı (30.04.2021).

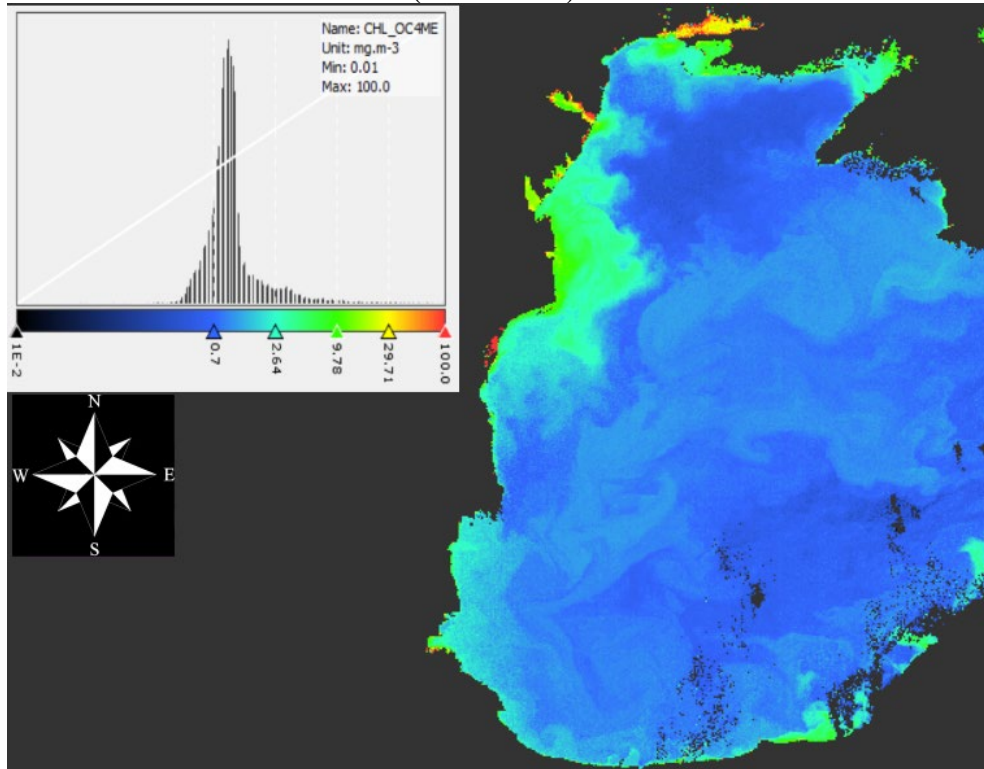


**Şekil 3.24 :** Marmara Denizi sınıflandırılmış uydu görüntüsü (30.04.2021).

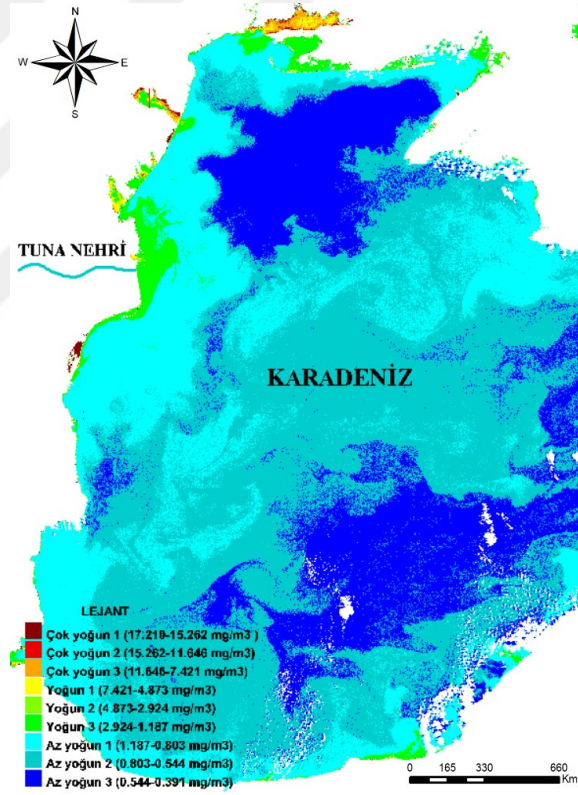
Marmara Denizi'nin 30.04.2021 tarihine ait multispektral uydu görüntüsü Şekil 3.22'de ve Şekil 3.23'te verilmiştir. Marmara Denizi'nin ortasından kıyı bölgelerine doğru klorofil-a yoğunluğunun büyük oranda arttığı görülmektedir (Şekil 3.24). Güneydeki yoğunluk 2021 yılında oluşan müsilaj probleminin oluşum süreci olarak değerlendirilebilir. Çanakkale Boğazı'ndan taşınan akıntılar sebebiyle Ege Denizi'nin kuzeyinin güneyine kıyasla daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.25 : Karadeniz orijinal Sentinel-3 OLCI multispektral uydu görüntüsü (10.04.2021).



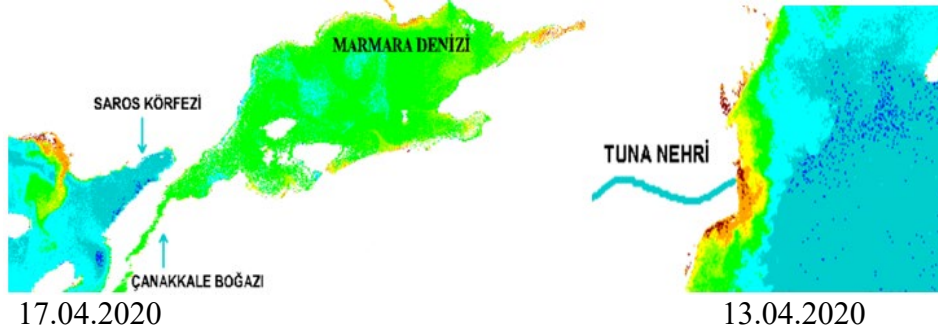
Şekil 3.26 : Karadeniz'in klorofil-a dağılımı (10.04.2021).



**Şekil 3.27 :** Karadeniz sınıflandırılmış uydu görüntüsü (10.04.2021).

Karadeniz'in 10.04.2021 tarihine ait multispektral uydu görüntüsü Şekil 3.25'te ve klorofil-a dağılımı Şekil 3.26'da verilmiştir. Tuna Nehri ve Karadeniz bağlantısındaki bölgede klorofil-a içeriğinin yoğun olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 3.27). Karadeniz'in genel olarak klorofil-a yoğunluğu açısından büyük oranda arınmış olduğu görülmektedir. Karadeniz akıntılarının İstanbul Boğazı ile Marmara Denizi'ne taşınması, su kalitesinin düşmesine ve bu dönemde müsilaj probleminin oluşumuna neden olmuştur.

Marmara Denizi ve Tuna Nehri'nin Karadeniz'e döküldüğü bölgenin mevsimlere göre sınıflandırılmış uydu görüntüleri:



Şekil 3.28 : İlkbahar mevsimi için sınıflandırılmış uydu görüntüleri.



Şekil 3.29 : Yaz mevsimi için sınıflandırılmış uydu görüntüleri.



Şekil 3.30 : Sonbahar mevsimi için sınıflandırılmış uydu görüntüleri.

İlkbahar mevsimi için Şekil 3.28'de, yaz mevsimi için Şekil 3.29'da ve sonbahar mevsimi için Şekil 3.30'da Marmara Denizi ve Tuna Nehri'nin Karadeniz bağlantısındaki bölgenin klorofil-a dağılımı verilmiştir.



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyadaki bütün canlıların yaşamı için su zorunlu bir gereksinimdir. Bu nedenle deniz ve tatlı su ekosistemleri tüm canlıların hayatını sürdürebilmesi için önemli bir fonksiyona sahiptir.

Deniz ekosistemindeki denge deniz kirliliğiyle bozulmaktadır. Bu kirliliğe neden olan etkenlerden biri azot ve fosfor gibi besin maddelerinin suya karışmasıyla oluşan yüksek klorofil-a konsantrasyonudur. Bunun sonucu olarak deniz ve tatlı su ekosistemleri büyük zarar görür. Sudaki besin miktarının artmasıyla çoğalan algler oksijeni tüketerek ötrofikasyona neden olduğundan su kalitesinin düşmesine neden olur. Genellikle ilkbahar aylarında görülen bu durum yaz aylarında bitmektedir. Ancak son yıllarda klorofil-a konsantrasyonundaki artış sıklık göstermektedir. Bu durumun uzun sürmesi sudaki oksijenin azalmasıyla birlikte suda yaşayan tüm canlıların ölümüne neden olabilmektedir.

Fosfatlı bileşiklerin kullanımında sudaki fosfat miktarını arttırdığı için diğer besleyici elementlerle birleştiğinde ötrofikasyonla sonuçlanmaktadır. Bunun bir sonucu olarak sudaki çözülmüş oksijenin azalması deniz canlılarına zarar verir. Fosfatın artmasıyla meydana gelen ötrofikasyon sonucu algler hızlı bir şekilde çoğalır, ışık geçişi azalır, denizaltında organik madde birikmesi ve oksijen miktarının yetersizliği nedeniyle balık ölümleri meydana gelir. Hammaddeler deniz suyunda koku, tat ve renk değişimine neden olabilmektedir. Bu durumun dikkate alınması denizlerin ve çevrenin korunmasının yanı sıra su tasarrufu için de önemlidir.

Deniz kirliliğinde evsel atıklar ve kara kökenli kirlenme önemli bir etkidir. Arıtılmamış atıkların deniz ortamına bırakılması kıyı alanlarını etkilemektedir. Gelişmiş arıtma yöntemiyle atık sulardaki katı atıkların ayrıştırılması, azot ve fosforun giderilmesiyle denize temiz atık suyun bırakılması gerekir. Karasal kökenli kirlenme çoğunlukla Marmara Denizi'nde görülmektedir. Küçük bir alana sahip olan Marmara Denizi'ndeki bu kirliliğin azaltılması için arıtma konusunda gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

Marmara Denizi Ege Denizi'nden gelen alt akıntının sularıyla yenilenir. Kuzey Ege ve Çanakkale Boğazı'nın bu kirlilikten etkilenmemesi için önlemler alınmalıdır. Ek olarak üst akıntıyla Karadeniz'den gelen kirleticilerin izlenmesinde büyük öneme sahiptir.

Karadeniz'in büyük bir havza alanına sahip olması, artan nüfus ve endüstriyel faaliyetlerin baskısıyla antropojenik etkileri ve kirliliği arttırmaktadır. Kirliliğin en yoğun etkisi kuzeyde Sivastopol ve güneyde İnebolu arasında kalan Batı Karadeniz bölgesinde görülmektedir.

Bölgesel oşinografik araştırmalar uzaktan algılama teknolojileri ile gerçekleştirilmektedir. Uydu görüntüleri denizlerdeki su kalitesini detaylı olarak takip etmek için sıklıkla kullanılmaktadır.

Sentinel-3 OLCI dünya yüzeyinin geniş bir perspektifle görüntülenmesine olanak sağlayan orta çözünürlüklü bir uydudur. İklim değişikliğine bağlı olarak okyanus gözlemlerinin yapılması için tercih edilebilir. Envisat'ın MERIS algılayıcısı ile veri sürekliliği sağlamak için tasarlanmış, MERIS'e kıyasla 6 ek bant geliştirilmiş olmasıyla atmosfer bileşimi için detaylı ölçüm yapılması açısından avantajlıdır. İki günde bir üç saatten kısa bir sürede gerçek zamanlı veriler elde etmesi yapılan araştırmalara önemli katkı sağlar. Atmosferik düzeltme ve deniz yüzey sıcaklığının belirlenmesi için veri imkanı sunmaktadır. Mekansal, zamansal, spektral çözünürlük ve daha iyi radyometrik hassasiyetin geliştirilmiş kombinasyonu, kıyıda açık okyanus ortamlarına kadar okyanus renginin kaydedilmesine olanak tanır. Veriler doğrudan kullanıcılara iletilir. Fakat bir dezavantaj olarak Sentinel-3 OLCI algılayıcısından toplanan geçmiş yıllardaki görüntüler en fazla bir yıl öncesine ait veriler sunmaktadır. Bu durum detaylı ve verimli araştırmalar yapabilmek için geliştirilmelidir.

Bu çalışmada Batı Karadeniz ve Marmara Denizi'nde deniz kirletici unsurlarının göstergesi olan klorofil-a konsantrasyonu farklı mevsimlerde Sentinel-3 OLCI uydu görüntü verileri kullanılarak SVM yöntemine göre 9 sınıf oluşturulup değerlendirilmiştir. Sınıflandırılan uydu görüntü verilerinde Tuna Nehri'nin getirdiği kirliliğin Batı Karadeniz'de yarattığı kirletici unsurlar ve Marmara Denizi'ne yansıyan etkileri incelenmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde verilen su kalite sınıfları dikkate alınarak yapılan çalışmada klorofil-a konsantrasyonunun ilkbahar

mevsiminde arttığı, sonbahar mevsiminde ise azaldığı gözlemlenmiştir. Denizlerin birbirleriyle etkileşim halinde olması, klorofil-a konsantrasyonundaki değişimi etkilemektedir.

Klorofil-a konsantrasyonundaki değişim alg yoğunluğuyla doğru orantılıdır. Algler denizdeki azot ve fosforu tüketmek için hızla çoğalmaktadır. Bunlardan bazıları yavaş bazıları hızlı tükendiği için bu dengenin bozulması stres şartlarına neden olmaktadır. Bu sebeple alglerin salgı bırakması müsilaj oluşumunu meydana getirmektedir. Denizlerdeki alg gruplarının bazıları müsilaj üretse de aynı zamanda oksijen üretiminde sağlamaktadır. Karalardaki ormanlara ek olarak oksijen kaynağı olarak denizlerde önemli etkiye sahiptir.

Son dönemlerde, Marmara Denizi'ndeki müsilaj problemi canlıların hayatını tehdit etmektedir. Küresel iklim değişikliği nedeniyle Marmara Denizi'nin sıcaklığındaki artış, Karadeniz'den gelen suların Marmara Denizi'ndeki durağanlıkla birleşmesiyle deniz yüzeyinde yarattığı kirlilik ve birçok atığın uzun yıllar denize karışması müsilaj oluşumunu arttırmıştır. Müsilaj sorununun daha detaylı takip edilmesi için SVM yöntemiyle sınıflandırılan uydu görüntü verilerinde sınıf sayısı artırılarak gözlem yapılabilir.

Marmara Denizi'nin hidrografisi boğazlar üzerindeki değişim yoluyla belirlenir. Marmara Denizi'nin varlığı ve özellikleri İstanbul Boğazı'yla doğrudan etkileşim halinde olan Karadeniz ile ilişkilidir. Denizin üst tabakasındaki ekolojik kaliteyi en çok Karadeniz belirlemektedir.

Karadeniz'in batısından gelen Tuna Nehri'nin akıntılarının oluşturduğu kirlilik Marmara Denizi'ne İstanbul Boğazı ile taşınmaktadır. Kirliliğin kontrol altına alınması için Türk Boğazlar sistemini oluşturan İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı sıklıkla ve düzenli olarak izlenmelidir. Bunun için Sentinel-3 OLCI'nin iyi bir seçenek olmasının yanı sıra daha yüksek çözünürlüklü algılayıcılar kullanılması özellikle müsilaj probleminin takip edilmesi için faydalı olacaktır. Deniz kirliliğinin doğrudan ve dolaylı olarak tüm canlıları etkilediği dikkate alınarak çözüm odaklı daha fazla çalışma yapılmalı ve faydalı yaklaşımlar uygulanmaya başlanmalıdır.



## KAYNAKLAR

- [1] **Url-1.** < Ekosistem Coğrafyası: [https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/19\\_20\\_Guz/ekosistem\\_cografyasi/13/index.html](https://cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/19_20_Guz/ekosistem_cografyasi/13/index.html) >, Erişim: 04.02.2021.
- [2] **Url-2.** < <https://www.cografyaci.gen.tr/denizlerimiz-ve-ozellikleri/> >, Erişim: 15.02.2021.
- [3] **Url-3.** < Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16806&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> >, Erişim: 05.03.2021.
- [4] **Url-4.** < <https://tr.wikipedia.org/wiki/Klorofil> >, Erişim: 26.03.2021.
- [5] **Çetin, T.** (2014). Su Çerçeve Direktifine Göre Biyolojik Kalite Elementleri: Fitoplankton ve Fitobentoz. Ankara.
- [6] **Zhou, X., Chen, J., Rakstad, T., Ploughe, M., & Tang, P.** (2020). Water Chlorophyll Estimation in an Urban Canal System With High-Resolution Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. doi: 10.1109/LGRS.2020.3011074
- [7] **Conopio, M., Japor, R., Blanco, A., & Tamondong, A.** (2019). Estimation of Chlorophyll-a Concentration in Laguna de Bay Using SENTINEL-3 Satellite Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W19-125-2019
- [8] **Url-5.** < Güneş Işığı ve Pigmentler: <http://www.biyolojiportali.com/belgeler/4G%C3%9CNE%C5%9E%20I%C5%9EI%C4%9EI%20VE%20P%C4%B0GMENTLER.pdf> >, Erişim: 30.03.2021.
- [9] **Url-6.** < Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme: <https://lab.csb.gov.tr/denizlerde-butunlesik-kirlilik-izleme-i-5886> >, Erişim: 21.04.2021.
- [10] **Url-7.** < <https://www.cevremuhendisligi.org/index.php/86-haberler/yazar-snc/1596-musilaj-deniz-salyasi> >, Erişim: 03.06.2021.
- [11] **Tarım ve Orman Bakanlığı-Su Kalitesi Yönetimi Daire Başkanlığı.** (2013). *Marmara Denizi Kirlilik Raporu*.
- [12] **Url-8.** <[http://www.nik.com.tr/content\\_sistem\\_uydu.asp?id=64#:~:text=Sentinel%2D3%20OLCI%2C%20deniz%2D,ve%20iklmsel%20izlemelerin%20yap%C4%B1lmas%C4%B1n%C4%B1%20sa%C4%9Flamakt%C4%B1r.](http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=64#:~:text=Sentinel%2D3%20OLCI%2C%20deniz%2D,ve%20iklmsel%20izlemelerin%20yap%C4%B1lmas%C4%B1n%C4%B1%20sa%C4%9Flamakt%C4%B1r.) >, Erişim: 06.06.2021.

- [13] **Url-9.** < <https://ioccg.org/resources/missions-instruments/> >, Erişim: 13.12.2020.
- [14] **Url-10.** < <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-olci> >, Erişim: 02.12.2021.
- [15] **Url-11.** < [https://tr.wer.wiki/wiki/Marine\\_primary\\_production](https://tr.wer.wiki/wiki/Marine_primary_production) >, Erişim: 22.02.2021.
- [16] **Lamquin, N., Deru, A., Clerc, S., Bourg, L., & Donlon, C. (2020).** OLCI A/B tandem phase analysis, part 2: Benefits of sensors harmonisation for Level 2 products. *Remote Sensing*, 12(17), 2702. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12172702>
- [17] **Url-12.** < <https://eo4society.esa.int/projects/sentinel-3-tandem-for-climate-s3tc-expro/> >, Erişim: 10.05.2021.
- [18] **Url-14.** < <https://www.cografyaci.gen.tr/denizlerimiz-ve-ozellikleri/> >, Erişim 09.03.2021.
- [19] **Balci, M., & Balkis, N. (2017).** Assessment of phytoplankton and environmental variables for water quality and trophic state classification in the Gemlik Gulf, Marmara Sea (Turkey). *Marine pollution bulletin*,
- [20] **Stanev, E. V. (2005).** Black Sea dynamics. *Oceanography*, 18(2), 56. 115(1-2), 172-189. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.12.007
- [21] **Doğan, E., Gönenç, İ. E., Gazioğlu, C., Yücel, Z. Y., Okuş, E., Yüce, H. (1998).** Examination of The Pollution In The West Black Sea By Remote Sensing Technologies.
- [22] **Türker A. (2007).** İstanbul Boğazı'nın Akıntı Rejimini Belirleyen Başlıca Etkenler.
- [23] **Url-15.** < <https://tr.wikipedia.org/wiki/Tuna> >, Erişim: 24.06.2021.
- [24] **Url-16.** < <https://www.eea.europa.eu/tr/isaretler/aca-isaretler-2018/makaleler/yonetim-2014-hareket-halindeki-su> >, Erişim: 25.12.2020.
- [25] **Url-13.** < <https://medium.com/deep-math-machine-learning-ai/chapter-3-support-vector-machine-with-math-47d6193c82be> >, Erişim: 18.10.2021.
- [26] **Url-17.** < [https://www.researchgate.net/figure/Map-of-the-Danube-River-Basin\\_fig2\\_260064597](https://www.researchgate.net/figure/Map-of-the-Danube-River-Basin_fig2_260064597) >, Erişim: 04.11.2021.
- [27] **Akkaya, C., Efeoğlu, A., & Yeşil, N. (2006).** Avrupa Birliği su çerçeve direktifi ve Türkiye'de uygulanabilirliği. *TMMOB Su Politikaları Kongresi*, 1, 195-204.
- [28] **Begmyradov, B. (2020).** *Deniz suyunun tuzluluk, sıcaklık ve klorofil değişimlerinin uzaktan algılama teknikleri ile belirlenmesi: Akdeniz kıyı şeridi örneği.* (Yüksek lisans tezi). Eskişehir Teknik Üniversitesi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir.
- [29] **Beşiktepe, Ş. T., Sur, H. İ., Özsoy, E., Latif, M., Oğuz, T., & Ünlüata, Ü. (1994).** The circulation and hydrography of the Marmara Sea.

Progress in Oceanography, 34(4), 285-334. doi:  
[https://doi.org/10.1016/0079-6611\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0079-6611(94)90018-3)

- [30] **Blix, K., Li, J., Massicotte, P., & Matsuoka, A.** (2019). Developing a New Machine-Learning Algorithm for Estimating Chlorophyll-a Concentration in Optically Complex Waters: A Case Study for High Northern Latitude Waters by Using Sentinel 3 OLCI. *Remote Sensing*, 11(18), 2076. doi: <https://doi.org/10.3390/rs11182076>
- [31] **Blix, K., Palffy, K., Toth, V. R., & Eltoft, T.** (2018). Remote sensing of water quality parameters over Lake Balaton by using Sentinel-3 OLCI. *Water*, 10(10), 1428. doi: <https://doi.org/10.3390/w10101428>
- [32] **Bulut, M., & Üstüner, B.** (2019). AB Su Çerçeve Direktifinin Türkiye’de su kaynakları yönetimine etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 20(3), 221-233.
- [33] **Donlon, C.** (2008). Sentinel-3 OLCI and SLSTR. In *Medspiration/GlobColour symposium*, 20th November.
- [34] **ESA.** (2018). *Sentinel-3 OLCI Marine User Handbook*.
- [35] **Hammond, M., Henson, S., Lamquin, N., Clerc, S., & Donlon, C.** (2020). Assessing the effect of tandem phase Sentinel-3 OLCI Sensor uncertainty on the estimation of potential ocean chlorophyll-a trends. *Remote Sensing*, 12(16), 2522. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12162522>
- [36] **Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ.** (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi. *Harita Dergisi*, 144(7), 73-82.
- [37] **Kubryakov, A., Stanichny, S., & Zatsepin, A.** (2018). Interannual variability of Danube waters propagation in summer period of 1992–2015 and its influence on the Black Sea ecosystem. *Journal of Marine Systems*, 179, 10-30.
- [38] **Morel, A., & Antoine, D.** (2000). Pigment index retrieval in Case 1 waters. *MERIS ATBD*, 2.
- [39] **Oğuz, T., & Beşiktepe, Ş.** (1999). Observations on the Rim Current structure, CIW formation and transport in the western Black Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 46(10), 1733-1753.
- [40] **Taşdemir, Y.** (2002). Marmara Denizi: Kirleticiler ve Çevre Açısından Alınabilecek Tedbirler.
- [41] **Tutak, B.** (2020). Batum Döngüsünün Zamansal ve Alansal Değişkenliğinin Sayısal Okyanus Modeli ile Belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 165-173.
- [42] **Xue, K., Ma, R., Duan, H., Shen, M., Boss, E., & Cao, Z.** (2019). Inversion of inherent optical properties in optically complex waters using sentinel-3A/OLCI images: A case study using China's three largest freshwater lakes. *Remote sensing of environment*, 225, 328-346. doi: [10.1016/j.rse.2019.03.006](https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.006)



## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad :** Başak DEMİR



### ÖĞRENİM DURUMU :

**Lisans :** 2014-2018, Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği

**Yüksek Lisans :** 2019-2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama

