

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KARADENİZ OŞİNOGRAFİSİNİN YERİNDE ÖLÇÜM VE UZAKTAN  
ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Bal. Tek. Yük. Müh. Abdulaziz GÜNEROĞLU**

**Mayıs 2007  
Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BALIKÇILIK TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KARADENİZ OŞİNOGRAFİSİNİN YERİNDE ÖLÇÜM VE UZAKTAN  
ALGILAMA TEKNİKLERİ İLE ARAŞTIRILMASI**

**Bal. Tek. Yük. Müh. Abdulaziz GÜNEROĞLU**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Doktor”  
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.04.2007  
Tezin Savunma Tarihi : 04.05.2007**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ercan KÖSE**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. Levent BAT**

**Jüri Üyesi : Doç. Dr. A. Muzaffer FEYZİOĞLU**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ersan BAŞAR**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT**

**Trabzon 2007**

## ÖNSÖZ

Uydu oşinografisi ve yerinde ölçüm tekniğinin entegrasyonu açısından örnek bir çalışma niteliği taşıyan bu tez çalışması Karadeniz Teknik Üniversitesi araştırma gemisi R/V KTÜ Denar-I ve Deniz Bilimleri Fakültesi MERC-RSGIS laboratuvar imkanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Multidisipliner olan çalışma, Devlet Planlama Teşkilatı ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

Araştırmalarım süresince her türlü desteğini esirgemeyen doktora tez danışmanım Doç.Dr.Ercan KÖSE'ye, aynı şekilde değerli katkılarını aldığım tez izleme jüri üyelerim, Doç.Dr.Muzaffer FEYZİOĞLU ve Prof.Dr.Tahsin YOMRALIOĞLU'na teşekkür ederim. Uzaktan Algılama konusunda bana teknik destek sağlayan Yrd.Doç.Dr.Fevzi KARSLI'ya, Bedford Oşinografi Enstitüsü (Kanada) ve Plymouth Üniversitesi (İngiltere) biyolojik oşinografi birimi ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Fakültesi çalışanlarına şükranlarımı sunarım. Yılgınlık hissettiğim zamanlarda, söylevleri ile beni cesaretlendirip, güvenlerini esirgemeyen Yrd.Doç.Dr.Ersan BAŞAR'a, Yrd.Doç.Dr.Coşkun ERÜZ'e, Doç.Dr.İlhan ALTINOK ve Arş.Gör.Arif Çağdaş AYDINOĞLU'na teşekkür ederim.

Öğrencilik hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden asla esirgemeyen, çok şey borçlu olduğum başta annem ve babam olmak üzere tüm aile fertlerime, özellikle bana sabır gösteren, güven ve desteğini esirgemeyen müstakbel eşim Nilgün AYHAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Abdulaziz GÜNEROĞLU

Trabzon, 2007

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Işık ve Sıcaklığın Fotosentez Hızı ve Algal Büyümeye Etkisi.....	3
1.1.2. Nutrientlerin Fitoplankton Gelişimine Etkisi.....	6
1.1.3. Hidrolojik Koşulların Birincil Üretim Etkisi.....	8
1.1.4. Birincil Üretim Kavram ve Metotlar.....	9
1.1.5. Görünür Alan Radyometrisi.....	11
1.1.6. Çalışmanın Önemi ve Karadeniz Ekosistem Yaklaşımı.....	11
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	14
2.1. Çalışma Alanı.....	14
2.2. Materyal ve Metot.....	16
2.2.1. Farklı Algılayıcılardan Elde Edilen Görüntülerin Karşılaştırılması.....	16
2.2.1.1. Kullanılan Algoritmalar.....	18
2.2.1.1.1. OC4V4 Algoritması.....	19
2.2.1.1.2. OC3M Algoritması.....	19
2.2.1.1.3. Algal1 Algoritması.....	20
2.2.1.1.4. Algal2 Algoritması.....	21
2.2.2. Uydu Verilerinin Yersel ( <i>in-situ</i> ) Veri ile Karşılaştırılması.....	22
2.2.3. Yerde Ölçüm Tekniği ile Karadeniz Oşinografisi.....	26
2.2.4. Potansiyel Birincil Üretim Hesaplanması.....	28
2.2.4.1. RM Modeli.....	28
2.2.4.2. PM Model Parametrizasyonu.....	30
2.2.4.3. BF Model Parametrizasyonu.....	34
3. BULGULAR.....	36
3.1. MERIS, SeaWiFS ve MODIS-Aqua Karşılaştırması.....	36
3.2. MODIS-Aqua SST ve OC3M Verilerinin Yersel Veriler ile Karşılaştırılması.....	45

3.3.	Yerinde Ölçüm Verileri.....	49
3.4.	Zamana Bağlı PP Değşimi.....	60
4.	TARTIŞMA.....	68
5.	SONUÇLAR.....	77
6.	ÖNERİLER.....	81
7.	KAYNAKLAR.....	83
	ÖZGEÇMİŞ.....	91

## ÖZET

Deniz ve okyanuslarda canlılığın devam edebilmesi ancak bu özel ekosistemlerin temel yapısını oluşturan, besin zincirinin devamı ile sağlanabilir. Gerçekte, meydana gelen süreç, zincirin her bir halkasından diğerine iletilen ve taşıyıcı olarak karbonun kullanıldığı enerji dönüşüm şeklidir. Bu döngünün sadece denizel ekosistemler için değil, CO<sub>2</sub> asimilasyonu ve atmosferdeki diğer gazların dengesi açısından karasal ekosistemler üzerinde de etkili olduğu, son zamanlarda küresel ısınma ve iklim değişikliği bağlamında çok daha iyi anlaşılmıştır. Uydu teknolojileri sinoptik açıdan sundukları zamansal ve konumsal yüksek çözünürlükler ile çevresel izleme adına en önemli araçlardır. Yapılan çalışmada, uydu teknolojilerinden deniz bilimleri alanında nasıl faydalanılabileceği ve uygulamalı oşinografi ile eş zamanlı kullanımı irdelenmiştir. Bunun için, eş zamanlı farklı algılayıcılardan elde edilen Chl-*a* görüntülerinin aynı alan için uyum derecesine bakılmıştır. En iyi korelasyon MODIS-Aqua/SeaWiFS arasında ( $R^2=0,88$  ve  $p<0,05$ ) bulunmuştur. MERIS/SeaWiFS ve MODIS-Aqua/MERIS için  $R^2=0,74-0,79$  arasında değişmiştir. MODIS-Aqua, OC3M ve SST verileri 2004, 2005 ve 2006 yıllarında toplanan yerinde ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Ölçülen, tüm yüzey Chl-*a* değerleri tüm periyotlar için  $0,11-1,35 \text{ mgm}^{-3}$  aralığında değişmiştir. En yüksek korelasyon ( $R^2=0,61$ ,  $p<0,05$ ) ile Kış-2005 veri setinde görülmüştür. MODIS-Aqua SST (11  $\mu\text{m}$ ) yerinde ölçüm verileri ile yüksek korelasyon göstermiştir ( $R^2=0,95$  ve  $p<0,05$ ). Kış periyodu (2005) için, % 1 ışık derinliği 7-21 m arasında ölçülmüştür. Aynı istasyonlar için hesaplanan toplam mevcut radyasyon sönmüleme katsayısı ( $K_d$ ),  $0,21-0,66 \text{ m}^{-1}$  arasında değişmiştir. Chl-*a* yüzey maksimum karakteristik göstermiştir. AKM,  $2-13,5 \text{ grm}^{-3}$  değer aralığında ve ortalama  $4,76\pm 3,56 \text{ grm}^{-3}$  yüzey sularında ölçülmüştür. Yıllık birim alandaki karbon üretimi 2002-2005 ortalamaları dikkate alındığında kıyı alanları için  $125 \text{ grCm}^{-2}$  iken açık alanlar için  $77 \text{ grCm}^{-2}$  civarında hesaplanmıştır. Karadeniz'in toplam yüzölçümü ve tüm alanlar için potansiyel üretim ~46 milyonton karbon olarak tahmin edilmiştir. Çalışma, ileriki yıllarda yapılacak oşinografik çalışmalara yön verebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon Döngüsü, Uydu Oşinografisi, SST, Chl-*a*, MERIS, Karadeniz

## SUMMARY

### **Investigation of the Black Sea Oceanography by Using *In-situ* and Remote Sensing Techniques**

Sustainability of living oceanic ecosystems could only be achieved by maintenance and continuity of marine food chain. Indeed, the main process involved is to transfer the energy from one ring to another by using carbon as conveyor. Recently, it has been well understood in terms of global warming and climate change that the cycle is not only important for marine ecosystems but also for terrestrial with regard to atmospheric CO<sub>2</sub> assimilation and the general equilibrium of atmospheric gases. Satellite remote sensing is invaluable tool to serve high resolution spatial and temporal data for monitoring environmental change. In this study, synergistic use of satellite remote sensing and *in-situ* oceanographic data are applied to marine environment. Firstly, images from MODIS-Aqua, MERIS and SeaWiFS are compared in terms of retrieval Chl-*a* and SST parameters for the same time and region. The best correlation has been found between MODIS-Aqua/SeaWiFS ( $R^2= 0.88$  and  $p<0.05$ ) and between  $R^2=0.74-0.79$  for MERIS/SeaWiFS and MODIS-Aqua/MERIS. *In-situ* data from 2004, 2005 and 2006 oceanographic cruises are compared to MODIS-Aqua, SST(11  $\mu\text{m}$ ) and OC3M. *In-situ* surface Chl-*a* was in the range of 0.11-1.35  $\text{mgm}^{-3}$ . The highest correlation is noticed in Winter-2005 data ( $R^2=0.61$ ,  $p<0.05$ ). MODIS-Aqua, SST reveals high correlation with *in-situ* data ( $R^2=0.95$  ve  $p<0.05$ ). For 2005 winter period, 1% light depth was between 7-21 m and vertical attenuation coefficient ( $K_d$ ) was in the range of 0.21-0.66  $\text{m}^{-1}$  for the same stations. Chl-*a* profiles generally represented by surface Chl-*a* maximum. TSM was changed between 2-13.5  $\text{grm}^{-3}$  with average  $4.76\pm 3.56$   $\text{grm}^{-3}$  surface value. Yearly potential carbon productions were calculated 125  $\text{grCm}^{-2}$  for coastal areas and 77  $\text{grCm}^{-2}$  for open sea. Taking in to account all subregions and entire surface area of the Black Sea potential carbon production was estimated ~46 million tone. This study can be traced for future perspective of similar oceanographic studies.

**Keywords:** Carbon Cycle, Satellite Oceanography, SST, Chl-*a*, Black Sea

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Temsili fotosentez oranı ışık şiddeti arasındaki ilişki ve maksimum üretim ile optimum ışık doyum noktası.....	4
Şekil 2. Genel çalışma alanı ve alt bölgeler (A1=Doğu Baseni, A2=Batı Baseni, B1= Batum Antisiklonu, B2= İstanbul Boğaz Girişi, C1=Tuna Deltası, C2=Kuzey Kıyı Zonu, C3=Güney Kıyı Zonu).....	16
Şekil 3. Çalışma alanı karakteristik bölgeler, karşılaştırılan zonlar.....	17
Şekil 4. Mart-Haziran dönemi için Kıyısal ve Açık Su kütlelerinin farklı örnekleme zamanlarından elde edilmiş yersel olarak ölçülmüş ortalama Chl-a değerleri.....	18
Şekil 5. R/V KTÜ DENAR I, 2005 Güney Karadeniz seferi (kırmızı üçgen), diğer düzenli seferlerin yapıldığı istasyonlar (kırmızı daireler).....	24
Şekil 6. Yüzeysel Chl-a ile yersel birincil üretimin karşılaştırılması.....	29
Şekil 7. Farklı algoritmalar kullanılarak elde edilen Chl-a dağılımı ( $\text{mgm}^{-3}$ ).....	38
Şekil 8. 03 Mart 2004 tarihine ait kıyısal alan Modis-Meris verilerinin karşılaştırılması.....	39
Şekil 9. 03 Mart 2004 tarihine ait kıyısal alan Modis-SeaWiFS verilerinin karşılaştırılması.....	39
Şekil 10. 03 Mart 2004 tarihine ait kıyısal alan Meris-SeaWiFS verilerinin karşılaştırılması.....	40
Şekil 11. 23 Mayıs 2004 tarihine ait kıyısal alan Modis-Meris verilerinin karşılaştırılması.....	40
Şekil 12. 23 Mayıs 2004 tarihine ait kıyısal alan Modis-SeaWiFS verilerinin karşılaştırılması.....	41
Şekil 13. 23 Mayıs 2004 tarihine ait kıyısal alan Meris-SeaWiFS verilerinin karşılaştırılması.....	41
Şekil 14. 23 Mayıs 2004 tarihine ait açık deniz Meris-SeaWiFS verilerinin karşılaştırılması.....	42
Şekil 15. 23 Mayıs 2004 tarihine ait açık deniz Modis-SeaWiFS verilerinin karşılaştırılması.....	42
Şekil 16. 23 Mayıs 2004 tarihine ait açık deniz Meris-SeaWiFS verilerinin karşılaştırılması.....	43



Şekil 17.	14 Haziran 2004 tarihine ait açık deniz Modis-Meris verilerinin karşılaştırması.....	43
Şekil 18.	14 Haziran 2004 tarihine ait açık deniz Modis-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması.....	44
Şekil 19.	14 Haziran 2004 tarihine ait açık deniz Meris-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması.....	44
Şekil 20.	Modis-Aqua OC3M ve yersel Chl-a değerleri (bahar periyodu “X”, yaz-güz periyodu “O” ve kış periyodu “+” temsil edilmiştir).....	46
Şekil 21.	Modis-Aqua SST ile yersel SST karşılaştırması.....	46
Şekil 22.	Karşılaştırma amaçlı kullanılan MODIS-Aqua SST görüntüleri.....	47
Şekil 23.	Kış_2005 dönemine ait yersel veri ile düzeltilmiş görüntüler.....	48
Şekil 24.	2005_seferi PAR profilleri.....	51
Şekil 25.	K <sub>d</sub> (490) MODIS-Aqua haftalık kompozit görüntü. Beyaz alanlar veri olmayan bulut ile kaplı alanlardır.....	51
Şekil 26.	BL_1 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	53
Şekil 27.	BL_2 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	53
Şekil 28.	BL_3 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	54
Şekil 29.	BL_4 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	54
Şekil 30.	BL_5 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	55
Şekil 31.	BL_6 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	55
Şekil 32.	BL_7 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	56
Şekil 33.	BL_8 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	56
Şekil 34.	BL_9 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	57
Şekil 35.	BL_10 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	57
Şekil 36.	BL_11 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	58
Şekil 37.	BL_12 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	58
Şekil 38.	BL_13 MERCAC_2005 Chl-a dikey profili.....	59
Şekil 39.	Yüzey AKM, Chl-a ve Seki değişimi, MERCAC-2005.....	59
Şekil 40.	Yerinde ölçüm birincil üretim (PP) verileri (kıyısal alan).....	62
Şekil 41.	Yerinde ölçüm birincil üretim (PP) verileri (açık deniz).....	62
Şekil 42.	RM modeli kıyı 2003 yılı aylık (PP) dağılım.....	63
Şekil 43.	RM modeli derin bölge 2003 yılı aylık (PP) dağılım.....	63
Şekil 44.	PM modeli kıyı 2003 yılı aylık (PP) dağılım.....	64

Şekil 45.	PM modeli derin bölge 2003 yılı aylık (PP) dağılımı.....	64
Şekil 46.	BF modeli kıyı 2003 yılı aylık (PP) dağılımı.....	65
Şekil 47.	BF modeli derin bölge 2003 yılı aylık (PP) dağılımı.....	65
Şekil 48.	Nisan-2003 dönemine ait PP dağılımı, BF modeli (A), PM modeli (B), RM modeli (C).....	66
Şekil 49.	2002-2005 yılı birincil üretim (PP) karakteristiği (BF Modeli).....	67

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Karşılaştırma amaçlı kullanılan görüntüler ve sensörleri.....	17
Tablo 2. MERIS, MODIS-Aqua ve SeaWiFS uydularına ait sensör karakteristikleri.....	21
Tablo 3. Yersel karşılaştırma amacı ile kullanılan görüntüler.....	25
Tablo 4. Yerinde ölçüm yapılan istasyonlar ve ölçülen parametreler.....	27
Tablo 5. Kullanılan veri setleri ve sefer bilgileri.....	29
Tablo 6. PM modeli X=5 için katsayılar.....	32
Tablo 7. Işık-fotosentez parametreleri ve $P^{B_{opt}}$ .....	35
Tablo 8. Tüm veri setlerine ait tanımlayıcı istatistik bilgileri ile önerilen eşitlikler.....	47
Tablo 9. MERCAC-2005 seferi $K_d$ değerleri.....	50

## SEMBOLLER DİZİNİ

$C_a$	SeaWiFS ve MODIS için Klorofil-a [ $\text{mgm}^{-3}$ ]
$R_{4S}$	Reflektans argümanı
$R_{3M}$	Reflektans argümanı
$P_w$	Yüzey reflektans argümanı
$L_w$	Sudan yansıyan irradyans değeri [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$E_d$	Su yüzeyine nüfuz eden radyans değeri [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$\lambda$	Dalga boyu [nm]
$A_i$	Algal 1 algortiması için katsayı
$P$	Reflektans oranı
$a_{\text{pig}}(442)$	442 nm' de pigment soğurma katsayısı [ $\text{m}^{-1}$ ]
$D\text{Chl-}a$	Düzeltilmiş klorofil-a değeri [ $\text{mgm}^{-3}$ ]
$B_{\text{sat}}$	Uydu klorofil-a değeri [ $\text{mgm}^{-3}$ ]
$z$	Derinlik [m]
$P$	Anlık mutlak verimlilik [ $\text{mgC}(\text{mgChl})^{-1}\text{h}^{-1}$ ]
$P(z)$	Herhangi bir derinlikte anlık verimlilik [ $\text{mgC}(\text{mgChl})^{-1}\text{h}^{-1}$ ]
$P_m^B$	Asimilasyon katsayısı [ $\text{mgC}(\text{mgChl})^{-1}(\text{wm}^{-2})^{-1}\text{h}^{-1}$ ]
$\alpha^B$	Fotosentez ışık eğrisi eğim açısı [ $\text{mgC}(\text{mgChl})^{-1}\text{h}^{-1}$ ]
$I$	Işık şiddeti [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$B$	Yerinde ölçüm için Chl- $a$ [ $\text{mgm}^{-3}$ ]
$I(z)$	$z$ (m) derinliğindeki aşağı yönlü irradyans [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$I_0$	Yüzeyin hemen altındaki aşağı yönlü irradyans [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$K_d$	Işık dikey sönümlenme katsayısı [ $\text{m}^{-1}$ ]
$I_o^m$	Yerel öğlen irradyasyonu [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$I_0(t)$	Günün herhangi bir anındaki irradyans değeri [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$g(t)$	Gün ışık değişim fonksiyonu

$P_{ZT}$	Herhangi bir zaman ve yerde anlık verim [ $\text{mgC}(\text{mgChl})^{-1}\text{h}^{-1}$ ]
$Z_{eu}$	% 1 ışık(PAR) derinliği [m]
$B_t$	Toplam klorofil-a [ $\text{mgChlm}^{-2}$ ]
D	Saat gün uzunluğu [h]
$\phi$	Enlem
$\delta$	Solar deklinasyon açısı
$d$	Yılın günü
$A_a$	Atmosferik albedo
$A_{ci}$	i.seviyedeki bulut albedosu
$F_i$	i. seviyedeki fraksiyonel bulutluluk
$m$	Su buharı soğurma katsayısı
$F$	Bulutluluk oranı (%)
$I_e^m$	Yerel öğlen TOA irradyasyonu [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$I_T^m$	Yerel toplam öğlen kısa dalgaboylu irradyans [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$I_k$	Fotoadaptasyon parametresi [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$I_*^m$	Normalize edilmiş irradyans [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$I_{sc}$	Solar sabit [ $\text{Wm}^{-2}$ ]
$P_z^B$	Optik derinliğe bağlı karbon tutma oranı [ $\text{C}(\text{mgChl})^{-1}\text{h}^{-1}$ ]
$P_{opt}^B$	Su kolununda maksimum karbon tutma oranı [ $\text{C}(\text{mgChl})^{-1}\text{h}^{-1}$ ]
$I_z$	z(m) derinliğinde irradyans [ $\text{molquantam}^{-2}$ ]
$I_{max}$	Maksimum irradyans [ $\text{molquantam}^{-2}$ ]
$I_{opt}$	Optimum z (m) 'deki irradyans [ $\text{molquantam}^{-2}$ ]
$\beta_d$	Fotoinhibisyon eğimi [ $\text{molquantam}^{-2}$ ]
T	Deniz yüzey suyu sıcaklığı [ $^{\circ}\text{C}$ ]
ESA	Avrupa Uzay Ajansı
MERIS	Avrupa Uzay Ajansı Uydusu
NASA	Amerikan Uzay Ajansı
MODIS	Amerikan Uzay Ajansı Uydusu

SeaWiFS	Amerikan Uzay Ajansı Uydusu
SST	Deniz yüzey suyu sıcaklığı
NLSST	Lineer olmayan deniz yüzey suyu sıcaklığı
K490	490 nm' de sönümlenme katsayısı
PAR	Fotosentetik aktif radyasyon
AKM	Askıda Katı Madde
ÇOM	Çözünmüş Organik Madde
CTD	İletkenlik, sıcaklık ve derinlik
RMS	Ortalama karasel hata
PP	Potansiyel birincil üretim
TOA	Atmosferin en üst tabakası

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

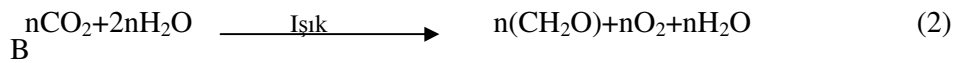
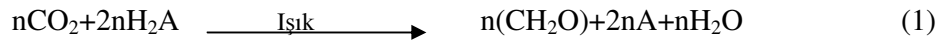
Biyosfer termodinamik bir sistem olarak ele alınırsa, denge noktasından uzak sürekli güneş enerjisi girdisi ile sürdürülen açık bir sistem olduğu görülür. Güneş aslında canlı kaynaklar ile direkt etkileşim içinde olmayıp jeokimyasal süreçler için dünyaya bir enerji kaynağı olarak hizmet eder. Fakat biyojeokimyasal süreçlerin ortaya çıkabilmesi için güneş enerjisinin canlı kaynaklar ile herhangi bir şekilde etkileşmesi gerekir. Deniz ve karasal ekosistemlerde bu etkileşim yeşil bitkiler tarafından sağlanır. Her iki ekosistemde onbinlerce farklı tür olmasına rağmen, temelde güneş enerjisi ile etkileşimi sağlayan yapılar, pigmentli “kloroplastlar” daha az çeşitlilik gösterirler. Aslında bu yönleri ile ekosistem ile güneş arasında bağlayıcı fiziksel arayüz görevini üstlenen, bu yapılardır. Kloroplastlar kabaca 400-700 nm spektral aralıkta dünyaya ulaşan ve fotosentetik aktif radyasyon (PAR) olarak bilinen, güneş enerjisini kullanabilme yetisine sahiptir. Kıyusal ekosistemlerde mevcut makro-algler dışında genel olarak denizel flora çoğu tek hücreli fitoplanktonlardan oluşur. Denizlerde mikro-florayı oluşturan bu canlılar yüksek metabolizmaları, bollukları ve hem dikey hem de yatay olarak dağılım göstermelerinden dolayı yıllık ortalama 40-50 GT fotosentetik aktivite (birincil üretim) miktarı ile yaklaşık olarak karasal ekosistemlerden elde edilen organik maddeye eşit organik madde sentezlerler. Bundan dolayı ekosistem için son derece önemli olan karbon döngüsünde önemli bir role sahiptirler (Antoine vd.,1996; Platt ve Sathyendranath, 2005; Falkowski ve Raven, 2007). Denizel ekosistem, atmosferik karbon içeriğinin 60 katı, karasal ekosistemin ise 17 katı kadar karbon içerir (Sarmiento ve Gruber, 2006). Fototrofik organizmalar, gezegeni meydana getiren 3/2 lik kısmın ekonomik olarak değer kazanmasını sağlarlar. Fotosentetik üretim veya fotosentez doğada inorganik karbonun güneş ışığı yardımı ile organik hale dönüştürülmesi şeklinde ortaya çıkar. Bitki fizyolojisinde bu dönüşüm fotosentez hızı olarak bilinir. Denizel canlılığın devam etmesi, karbon döngüsü ve organik madde üretimine bağlıdır. Bu noktada denizel ortamda mevcut inorganik elementler veya nutrientler fiziksel ve biyolojik etkileşimler sonucu çevrime sokulur. Böylece denizlerin canlılığı devam eder. Organik madde döngüsünde en önemli fiziksel etkileşim çeşitli şekillerde (batma, yükselme ve yatay yer değiştirme gibi) ortaya çıkar ve sonuçta besin elementleri açısından zengin daha derin su kütlelerini biyolojik pompa gibi çalışıp

fotosentez kritik derinliğinin üstüne çıkarır. Böylelikle, nutrient dağılımı tüm okyanus alanlarında denge halinde bulunur. Sistemin 5 yıllık bir süre için dahi duraksaması, okyanuslarda besin elementlerinin tuzluluk dağılımına benzer bir yapı içine girmesini sağlar buda tüm denizlerin yüksek nutrient konsantrasyonları ile canlılığını yitirmesi anlamına gelir. Sistemin sağlıklı bir şekilde devam etmesi, organik maddenin tekrar remineralizasyon ile döngüye girmesi ile olur (Sarmiento ve Gruber, 2006).

Denizlerde organik madde üretimi ışık, nutrient ve diğer çevresel faktörlerin mevcut olduğu durumlarda fotosentez mekanizması ile ortaya çıkar. Üretilen organik madde çoğu zaman su kolununda serbest halde asılı kalır. Fotosentezi etkileyen biyotik ve abiyotik faktörler dinamik denizel koşullar altında sürekli değişim gösterirler. Fotosentez hızı veya derecesi denizlerde birincil üretimi ortaya koyar. Birincil üretim ile ilgili olarak;

- Fotosentez hızının tahmin edilmesi
- Fotosentez hızını etkileyen parametrelerin ortaya konması, gibi konular,

başlıca merak ve araştırma konusu olan alanlardır. Öyleki birincil üretimi modellemeye yönelik tüm yaklaşımlar bu iki temel üzerine oturtulmuştur. Ayrıca fitoplankton ekolojisi ve fizyolojisi ile ilgili çalışmalarada bu bağlamda ihtiyaç duyulur.



Birinci denklemde indirgenen bileşikler  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  ve  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$  gibi veya hidrojen taşıyan herhangi bir organik yapı olabilir. Bütün fotosentetik reaksiyon sadece yukarıdaki denklemler ile açıklanabilen basit bir işleyiş değildir. Temelde 3 aşamada açıklanabilir,

1. Güneş enerjisinin tutulması ve kimyasal formlara çevrilmesi.
2. Elde edilen kimyasal enerjinin bitki fizyolojisine uygun kimyasal forma ATP (adenozin trifosfat), NADPH (nikotinamid adenin denükleotid fosfat) dönüştürülmesi.
3. ATP ve NADPH kullanılarak  $\text{CO}_2$  tutulması.

İlk iki özellik fotosentetik organizmalar için geçerliken üçüncü özellik hem ototrof hemde kemotrofik organizmalar için geçerlidir (Parsons vd.,1984; Kaiser vd.,2005).



Yukarıdaki ikinci reaksiyondaki hali ile ifade edilen fotosentez bir indirgenme reaksiyonudur. Tepkime bu haliyle sadece aerobik fototrof organizmaları kapsar ancak bunun yanında fototrofik bakteriler ve bunların neden olduğu üretim de birincil üretime dahil edilir. Yukarıdaki reaksiyonun hızı başka bir deyişle birincil üretimi ölçmek için birbirine eş değer sayılabilecek farklı yöntemler mevcuttur. Bunlar, karbon tutma oranı, oksijen üretimi, organik madde üretimi, kimyasal enerji kazanç oranı veya hücre içi redoks sistemi gibi yöntemlerdir (Vollenweider, 1969).

Yukarıdaki ikinci reaksiyon iki aşamalı olarak meydana gelir bunlar “aydınlık” ve “karanlık” evrelerdir. Aydınlik evrede ışık , metabolik enerjiye çevrilirken, karanlık evrede karbon (C) tutularak organik maddeye dönüştürülür. Çözünmüş inorganik karbon denizlerde, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), karbonik asit (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) ve bikarbonat iyonları (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) şeklinde bulunabilir. Tüm okyanus ve denizler için mevcut inorganik karbonun %90’ı bikarbonat iyonları halinde bulunur. Bununla birlikte günümüzde halen fototrofik deniz canlıları tarafından tercih edilmesi açısından hangi inorganik karbonun türünün baskın olduğuna dair fikir ayrılıkları vardır (Kaiser vd., 2005).

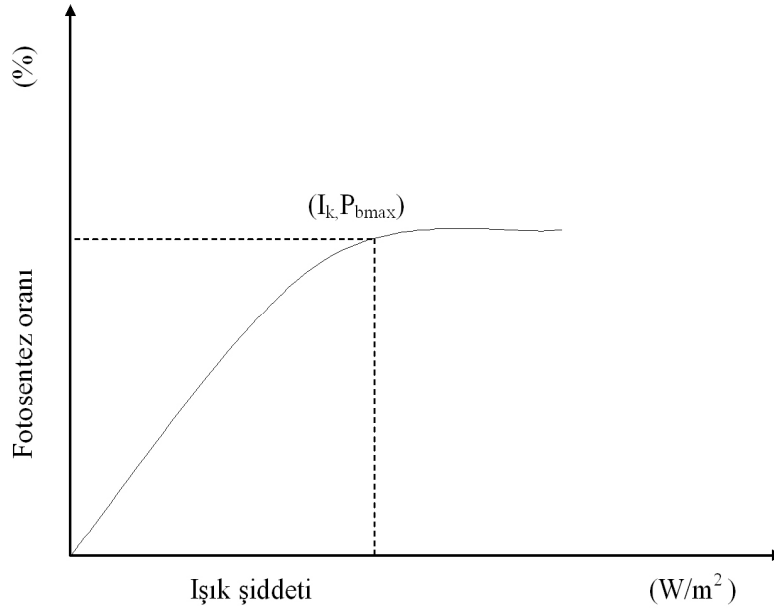
Bunun yanında 1980’li yıllardan sonra özellikle uydu teknolojisinde meydana gelen gelişmeler sonucu, uydu verisi ve yerinde ölçüm veri kombinasyonu ile PP hesaplamak mümkün olmuştur. Global ölçekte ve yüksek çözünürlüklü zaman serisi veri alma olanağı başka bir yöntemle mümkün değildir. Bunun yanında ekosistemin yüksek çözünürlükle izlenmesi sadece denizlerin insanoğluna sunmuş olduğu biyolojik maddi faydaların yanında karbon döngüsü açısından da önemlidir (Antoine vd., 1995; Antoine vd.,1996). Örneğin; okyanuslarda mevsimsel ve yıllık “pCO<sub>2</sub>” değişimlerini yerinde ölçüm yöntemi (Araştırma Gemisi Seferleri) ile ortaya koymak son derece zordur ve en önemlisi lokal etkiler taşır (Armstrong vd.,1995).

### **1.1.1. Işık ve Sıcaklığın Fotosentez Hızı ve Algal Büyümeye Etkisi**

Fotosentez kritik derinliğinin yüzey karışım tabakasından daha derin olduğu durumlarda birincil üretim ışık tarafından sınırlanır. Verimliliğin sürekli olması için yüzey karışım tabakasının kritik derinlikten az olması kompenzasyon noktasını aşacağından pozitif verimlilik için istenen bir durumdur (Steemann, 1975; Longhurst, 1998).

Işık ve sıcaklığın fitoplankton üzerine etkisi irdelenirken ışığın spektral kompozisyonu, irradyans derecesi, sıcaklık ve nutrient gibi değişkenlerin derinlikle eş

zamanlı olarak ele alınması gerekir. Bu alanda yapılan birçok çalışmada irradyans-fotosentez ilişkisinin parabolik eğim karakteristiği olduğu ve bu eğimin sadece gelen ışığa bağlı olmayıp diğer faktörlerinde etkisinde olduğu ortaya konmuştur. Söz konusu ilişkiyi temsil eden grafik Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Temsili fotosentez oranı ışık şiddeti arasındaki ilişki ve maksimum üretim ile optimum ışık doyumu noktası

Şekil 1’de çizilen grafik fotosentezin hiç solunum (karbon tüketimi) safhasının olmadığı kabul edilerek çizilmiştir normalde solunum ve fotosentez birbirini takip eden süreçlerdir. Şekilde  $I_k$  (optimum ışık şiddeti) ve  $P_{bmax}$  (maksimum fotosentez oranı) temsil etmektedir. Grafiğin lineer bölümünde fotosentez oranının ışık şiddetine bağlı olarak arttığı görülmektedir, ancak ışık şiddeti artmaya devam ettiğinde fotosentez oranının artmayıp durağan kaldığı ve maksimum düzeye eriştiği görülmektedir. Bu noktada stimüle edilen klorofil oranının normal olarak indirgenme reaksiyonlarının gereksinimlerinden çok daha fazla olduğu söylenebilir. Maksimum ışık doygunluğuna erişme noktası (saturasyon noktası) ( $I_k$ ) farklı taksonomik gruplar için farklı değerlere sahiptir. Örneğin bu değer Diatomlar için 10000-20000 lüks arasında iken Dinoflegellatlar için 25000-30000 lüks civarındadır, hatta farklı enlemlerden benzer türler bile farklı doyumu noktalarına sahip olabilmektedir.  $I_k$  değerinin yükselmeye bağlı olarak planktonun fotosentetik aktivitesi

( $\text{mgCmg}^{-1} \text{Chl-}a \text{ h}^{-1}$ ) deęiřecektir ve en yksek doyum noktası ile buna baęlı fotosentetik aktivite, yksek irradyans deęerlerine adapte olmuř turlerde ortaya ıkacaktır. Bunun yanısıra, dűřk enerji dűzeylerine adapte olmuř turlerde fotosentetik aktivite daha dűřk ancak hcreler iindeki Chl-*a* miktarı ık daha yksektir. Bu nedenle dűřk enerji dűzeylerine adapte olmuř turler ıřıyan enerjiyi daha iyi kullanma yetisine sahiptir. Hcre iei pigment miktarının deęiřimi bir ęeit adaptasyon olarak deęerlendirilebilir bir bařka adaptasyon yontemi de enzim faaliyetlerini arttırıp azaltarak, Chl-*a* miktarı deęiřtirilmeden geręekleřmektedir.

Sıcaklığın fotosentez oranına etkisi ancak  $I_k$  değeri aşıldığında ortaya ıkılmaktadır. Byle durumlarda fotosentez hızı sıcaklığın artışı ile birlikte hızlı bir şekilde artmaya ve sonrasında yavaş yavaş artmaya devam ettikten sonra sıcaklığın daha fazla arttırılması ile ık hızlı bir şekilde dűřű eğilimine geğer. Optimum sıcaklık dűzeyinin izerindeki sıcaklık ykşselmesi hızlı hcre lmlerine neden olabilirken, dűřk sıcaklıklar fotosentez iin daha az zararlıdır. Optimum sıcaklık dereceleri altındaki durumlarda  $\text{CO}_2$ 'i tutmaya yarayan enzim miktarı artış gsterir buda ışığın sınırlayıcı faktör olduğu durumlarda, optimum sıcaklık dışındaki sıcaklıklarda fotosentez oranının neden değişmediğini aıkıklar (Finenko, 1978). Bununla birlikte, fotosentez hızı ile sıcaklık arasındaki ilişki turlen ture farklılık gsteren karmaşık bir ozelik arz eder. Orneęin,  $10^\circ\text{C}$  altındaki sıcaklıklara diatomlar adapte olabilirken diğer turler olumsuz etkilenir (Miller, 2004). Ozellikle orta enlemlerde birincil retimim mevsimsel değişimi ışık ile birlikte sıcaklık değişiminin bir sonucu olarak ortaya ıkar (Tait ve Dipper, 1998).

Aydınlanma oranının fitoplankton byyemesi izerine etkisi fotosentez-ışık grafiğine benzer şekilde paraboliktir. Fakat byyeme-aydınlanma ilişkisinde, fotosentez oranından farklı olarak, ışık doyum noktası ( $I_k$ ) yaklaşık olarak fotosentez-ışık değerinin yarısı kadardır. Yani,  $I_k$  değerine daha erken 4000-8000 lks civarında ulaşılır. Tropik blgelerden izole edilmiş 1500 lks civarında ışık şiddetine adapte olmuş turlerde bile ışık doyum noktası 2500-7000 lks civarında olmuştur. Bazı turler iin byyemenin durduğu ışık doyum noktası iin aralık geniş iken diğerleri iin bu ozelik irradyans oranına bağlıdır. Ancak, genel olarak tm turler iin fotoperiyot suresi optimum byyeme iin gereklidir ve ışık şiddetine bağlı olarak değişir. Byyemenin ışık yoğunluğuna bağlı olarak lineer olarak arttığı durumlar, aydınlanın byyeme iin uygun olduğu (optimum) aralık olarak benimsenebilir. *In-situ* koşullarda radyans şiddetinin fotosentez oranına etkisi iki şekilde ortaya konabilir. Farklı derinliklere ornek şişeleri yerleştirerek veya filtre kullanıp gelen

güneş enerjisi yada suni kaynaktan yayılan enerjinin şiddetini değiştirmek şeklinde olur.

Bu amaçla yapılan çalışmalar, fotosentez maksimum derinliğinin büyük ölçüde suyun ışık geçirgenliği (saydamlık) ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Bunun dışında su yüzeyinde birim alana düşen ışık şiddeti, tür adaptasyonu ve ilgili derinlik için nutrient durumuda etkilidir. Işık sönmülenme katsayısı ( $K_d$ ) düşük olan tropikal sularda fotosentez maksimum genelde 10-30 m arasında gerçekleşirken orta ve yüksek enlemlerde solar ışımaya bağlı veya diğer *in-situ* etmenlere bağlı değişebilmektedir. Genel özellik olarak PAR (Photosynthethic Active Radiation) derinliği ne kadar fazla ise maksimum fotosentez derinliği o denli düşüktür denebilir (Finenko, 1978).

Chl-*a* ile fotosentez arasındaki korelasyon optimum koşullar altında farklı bölgelerin karkterizasyonu için kullanılabilir. Optimum ışık, mevsim ve tür adaptasyonu göz önüne alındığında fotosentez miktarı ile Chl-*a* arasında lineer bir ilişki göze çarpacaktır. Sivastopol körfezi ve kıyıda açık kesimde Karadeniz'in kuzeyinde gerçekleştirilen bir çalışmada fotosentetik aktivite körfez içinde kıştan yazaya doğru artmış ve ağustos-eylül döneminde maksimum değerler göstermiştir (Finenko, 1978). Karadenizin açık kesimlerinde de benzer değerler Mayıs-kasım dönemi boyunca gözlenmiştir. Benzer şekilde P/C oranı Tokyo körfezi ve Long Island Sound 'ta gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda mevsimlere göre ışık saturasyon noktasında mevsimsel karakteristik göstermiştir. P/C oranı tropikal bölgelerde en yüksek ve yüksek enlemlerde en düşük değerleri gösteririr. Ayrıca bu oranın nutriente bağlı olarak değişebileceği rapor edilmiştir (Finenko, 1978).

### 1.1.2. Nutrientlerin Fitoplankton Gelişimine Etkisi

Doğada fitoplankton gelişimini etkileyen ana faktörlerin en önemlilerinden biri besin elementleridir. Azot ve fosfor bileşikleri hücre içi protein moleküllerinin metabolik etkileşime girdikleri için en önemli konumdadır. Bunun yanında özellikle bazı makro algler için çoğu zaman sınırlayıcı olmasada sülfür de önemlidir (Kaiser vd., 2005). Besin elementleri su ortamında bolca bulunmalarına rağmen, eşit biçimde dağılım göstermezler. Özellikle öfotik zonla bağlantılı olarak konsantrasyonları azalır. Yüzey suları ve üst tabakalarda, yüksek enlemlerden alçak enlemlere doğru gelen ışık oranının fotosentezi olumlu yönde tetiklemesinden bu bölgelerde sürekli düşük konsantrasyonlar gösterirler. Merkez tropikal ve sub-tropikal bölgeler ile yazın orta enlemlerde bu bileşiklerin

konsantrasyonu iyice azalır. Yüzey tabakalarında temel besin elementleri konsantrasyonu yenilenme ve upwelling' e bağlıdır. Bununla beraber her iki süreç yine de fitoplanktonların ortamdaki aldıkları nutrient oranlarını karşılayamaz ve böylelikle fitoplankton büyümesi (birincil üretim) nutrient yokluğu nedeni ile sınırlanır. Nutrient eksikliği sadece büyümeyi sınırlamakla kalmayıp, tür kompozisyonuna da etki eder. Çok düşük nutrient konsantrasyonlarını tutabilen türler ortamda daha baskın hale gelir. Azot denizel ortamda organik veya inorganik halde bulunabilir. Amino asitler, purine, primidin, üre ve ürik asit organik azot kaynağı olup bazı türler tarafından kullanılabilir. Ancak denizlerde ana azot kaynağını inorganik halde bulunan nitrit, nitrat, amonyak karşılar. Nitrat ve amonyak hem ışık altında hem de ışısız ortamda fitoplankton tarafından soğurulabilirler. Ancak ışık altında soğurulma oranı ışısız ortama göre çok daha fazla şekilde gerçekleşir. Nitrit tutulması ise biraz daha karmaşık olup ışısız ortamda bazı türler nitriti kullanabilirken (örneğin, *Dunaliella tertiolecta* gibi) bazı türler (*Ditylum brightwellii*) kullanamamaktadır. Ortamda birden fazla inorganik halde azot kaynağı mevcut ise bunlardan ilk olarak amonyak kullanılır. Nitrat ve nitrit ortamda birlikte mevcutsa eş zamanlı olarak asimile edilirler. Nitrat kullanıldığı durumlarda fitoplankton amonyakta olduğundan hemen hemen iki kat daha yavaş büyüme gösterir. Bununla birlikte organik azot ve Chl-*a* sentezi yavaş fakat buna karşılık yağ sentezi daha hızlıdır. Çünkü nitratın kullanılabilmesi için indirgenme sürecine girmesi gerekmektedir. Bunda nitrat reduktaz enzimi rol oynar. Ortamda amonyak tuzları olması halinde ise reduktaz enzimi inhibe edilir. Fakat normal şartlar altında denizel ortamda amonyak tuzları fazlaca bulunmaz buda pratikte reduktaz enziminin denizel ortamda inhibe edilmediğini gösterir. Denizel ortamda fosfor assimilasyonu daha karmaşık bi şekilde meydana gelir. Fosfor organik ve inorganik bileşikler halinde bulunabilir. Çoğu çözülmüş organik bileşiklerde fosfor fitoplanktonlar tarafından kullanılabilen, asit radikalleri ve eterler şeklinde bulunur. Organik fosforun hücrelere geçişi alkalın fosfotaz enziminin organik kısmı ayırması ile fosfor asitlerini oluşturması şeklinde olur. Ortamda fosfat azaldığında enzim değerlerinde artış olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur. İnorganik olarak, ortofosforik asit iyonları halinde ortamda bulunan fosforun hücreye geçiş miktarı ve assimilasyonu yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Yüksek fosfat konsantrasyonlarında gelişen fitoplankton ile daha az fosfat yoğun ortamlarda gelişen fitoplankton hücresel fosfor içerikleri farklılık gösterir. Bunun yanında ortamda bulunan nutrient konsantrasyonları hücrelerin sitolojik ve morfolojik yapısında değiştirebilir. Doğal ortamda fitoplankton gelişimi ile ortamdaki besin

elementleri arasındaki kinetik, ortamdan izole edilen farklı türler üzerinde yapılacak deneysel çalışmalar ile ortaya konabilir (Finenko, 1978). Azot, fosfor, silikon, sülfür, potasyum ve sodyum gibi makro nutrientlerden başka, demir, çinko, bakır, mangan, biotin, tiamin ve vitamin B12 gibi mikronutrientler (iz elementler) de algal gelişim için son derece önemlidir (Kaiser vd., 2005).

### 1.1.3. Hidrolojik Koşulların Birincil Üretime Etkisi

Birincil üretim üzerinde besin elementleri konsantrasyonu ve aydınlanma (ışık) etkisi yukarıda açıklanmıştır. Ancak bunun yanında bu temel değişkenlerden özellikle besin elementlerinin su kolununda dikey ve horizotal olarak yayılımı bir çok kompleks hidrolojik işleyişe bağlı olarak değişir. Su kolununundaki tabakalaşma ve buna bağlı olarak besin elementleri tabakalaşmasının değişimi temelde 3'e ayrılabilir (Finenko, 1978).

1. Su tabakalarının dikey konveksiyonu
2. Jet akıntılarda meydana gelen ters akıntılar
3. Yüzey akıntıları ile su kütlelerinin batması ve sürtünme etkisi

Su kütlelerinin dikey karışımı birincil üretim üzerinde çift yönlü bir etkiye sahiptir çünkü sadece besin elementlerinin karışımını etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda planktonların daha alt veya üst tabakalara taşınımını da sağlar. Dikey karışımın birincil üretim için sınırlayıcı olduğuna yönelik teori ilk defa Sverdrup tarafından 1953 yılında ortaya konmuştur (Finenko, 1978). Buna göre karışım tabakasında birincil üretimin artmasının, ancak fotik zon içindeki organik madde üretiminin, aynı zon içinde meydana gelen solunum düzeyini geçmesi ile oluşabileceği ortaya konmuştur. Solunum oranı ile birincil üretimin eşit olduğu derinliğede kritik fotosentez derinliği denmiştir. Kritik fotosentez derinliği büyük ölçüde fotik derinliğe bağlı olduğundan, birincil üretim açısından fiziksel değişken olarak dikey karışım ile birlikte, fotik derinliğin de göz önüne alınması gerekir. Sverdrup hipotezine göre, diğer fiziksel koşullar sabit olmak şartı ile, karışım tabakası derinliği-kritik fotosentez derinliği oranı ne kadar düşükse o denli yüksek oranlarda organik madde üretimi gerçekleşir. Sverdrup hipotezini açıklamaya yönelik kıyısal bölgelerde fitoplankton çoğalmalarının (aşırı organik madde artışı) açık deniz alanlarından 1-1.5 ay önce meydana gelmesi örnek verilebilir. Kıyısal alanlarda üretimin

daha çabuk başlamasının nedeni aşırı miktarda kıyı alanlarını besleyen soğuk nehir sularından kaynaklanan erken tabakalaşma sonucu dikey karışımın kesilmesidir. Stratifikasyon (tabakalaşma) nun denizlerde organik madde artışına olan etkisi son derece büyüktür. Örneğin, tropik alanlarda sürekli ısınma ile meydana gelen kalıcı termoklin tabakası bu alanların nutrient açısından fakir hale gelmesini ve yıl boyunca birincil üretim oranlarında çok fazla değişimin ortaya çıkmamasını sağlar (Lalli ve Parsons, 2004). Tabakalaşma sonucu uygun ışık, nutrient ve sıcaklık şartlarının kısa bir süre için bile oluşması birincil üretimi tetikler. Işıklı bölgede yoğunluk tabakalaşmasının başladığı yer ile maksimum fitoplankton konsantrasyonu katmanı çakışır. Işıklı zon içinde yoğunluk tabakalaşmasının başladığı noktanın hemen üst kısmında maksimum canlı kütle konsantrasyonlarına rastlanır. Canlı kütle tabakalaşmasının yoğunluğu yoğunluk tabakasının ne kadar sert geçişli olduğuna bağlı olarak değişir. Sert geçişlerde yüzey tabakasının 5-10 katı kadar canlı kütle alt derinliklerde bulunabilir. Bunun bir nedeni yerçekimi etkisinde belli bir derinlikte fitoplanktonun su kolonunda asılı halde durması diğer bir nedeni de hücresel sıvı konsantrasyonudur. Bunun yanında söz konusu katmanda mevcut canlılığın aşırı üretim ile daha da artması da söz konusudur. Bu durum özellikle fotosentezin ışık tarafından sınırlandırıldığı (örneğin kış mevsimi) durumlarda ve upwelling bölgelerinde daha belirgindir.

Denizlerde birincil üretimi etkileyen diğer bir parametre de tür kompozisyonudur. Birincil üretim tür kompozisyonuna göre de farklılık gösterecektir. Karadeniz’de güz mevsimde kıyı va açık deniz alanlarında gerçekleştirilen çalışmalar bu mevsimde fitoplankton topluluğunun çok büyük oranda dinofilagellatlar ve diatomlardan oluştuğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte bu iki grubun Karadeniz’ in birincil üretimine katkısı açısından zamansal ve konumsal farklılık arz ederler. Açık deniz kesiminde toplam üretimin %45-56’ sından diatomlar (*Cyclotella caspia*, *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros compressus*, *C. affinis*) kıyısal alanlarda aynı türler üretimin %67-95’ inden sorumludurlar. Dinofilagellatların, kıyısal alanların birincil üretiminde ki oranı % 4-14 ve açık deniz için ~ %30 civarında değişir (Finenko, 1978).

#### **1.1.4. Birincil Üretim Kavram ve Metotlar**

Birincil üretim genel anlamda fotosentez sonucu oluşan birim organik karbon için tutulan inorganik karbon miktarını ölçme yöntemidir (Kaiser vd., 2005). Birincil üretimi

belirlemeye yönelik yöntemlerin başında radyoaktif karbon yöntemi gelmektedir. Diğer yöntemlerden oksijen ve nutrient asimilasyonuna göre birincil üretimin belirlenmesi, daha az kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntem 1952' de ortaya koyduktan sonra çeşitli kimyasal süreç değişimine uğramıştır, fakat temel yöntem aynıdır. Radyokarbon yöntemi ile birincil üretimi ölçebilmek için örnek düzeneğindeki örnek şişelerinin ne kadar radyoaktif karbon içerdiği bilinmelidir. Örneklerde ilk konsantrasyon belli olduktan sonra inkübasyon sonucunda biyolojik veya sintilasyon karbon sayım yöntemi ile ne kadar organik madde artışı olduğu hesaplanabilmektedir. Birincil üretimi belirlemeye yönelik yapılacak çalışmalarda, örnekleme zamanı ile örneğin bekleme süresi ile çalışılan türün fotosentetik aktivitesi gibi değişkenler gözönünde bulundurulmalıdır. Organik madde üretimi denizlerde irradyans oranı, CO<sub>2</sub> konsantrasyonu, nutrient miktarı ile fitoplankton yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Sentez edilen organik madde miktarını etkileyen diğer faktörler arasında , örnekleme şişesinin kapasitesi, filtrelerin saklanması aşamasında <sup>14</sup>C kayıpları, plankton sedimentlerinin karbondan arındırılmış filtrelerde süzülmesi ile <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> ile <sup>12</sup>CO<sub>2</sub> tutulma hızlarının farklılığı sonucu etkileyecektir. Radyoaktif yöntemin bilinen eksik tarafları ise, ölçülen değerler gerçek (mutlak) üretim değerlerini yansıtmaması, bakteriyel etki, eklenen radyoaktif izotopun solunuma girdiğinin kabul edilmesi, izotopun farklı türler üzerindeki etkisinin bilinmemesi ve total karbon oranının tam olarak hesap edilememesi gibi etkilere (Miller, 2004). Bugüne kadar kullanılan ve birincil üretimi hesaplamaya yönelik hemen hemen tüm yöntemlerin eksik tarafları mevcuttur. Örneğin günümüzde de yaygın olarak kullanılan ve ilk şekli ile 1958 ortaya konan doğal ışığın bir inkübasyon ünitesinde simüle edilip ışığın farklı derinlikleri temsilen cam filtrelerden geçirilmesi yöntemi bile derinlik ile değişen ışık spektrasını temsil edememektedir (Finenko, 1978).

Diğer bir yöntem olan oksijen yöntemi Winkler titrasyon esasına dayanır. Bu yöntem şeffaf 10-200 ml'lik cam şişelerde oksijen kullanımı ve yine aynı hacimlerde koyu renkli şişelerde solunum ile azalan oksijen konsantrasyonu eş zamanlı ölçülür. Oksijen yönteminin radyoaktif karbon yönteminden en önemli farkı fotorofların dışında örnek içinde bulunan bakteri, protozoan ve zooplankton solunumu da ölçülen oksijen konsantrasyonunu etkileyecektir (Kaiser vd., 2005).

Özellikle son yıllarda kullanılan diğer bir yöntem, elektrod dizileri kullanarak oksijen, karbondioksit veya azot gibi değişkenleri yerinde elektronik aletler ile tayin yöntemidir. Daha gelişmiş ekipman olarak mikro-optodlar özellikle 20 µm' den küçük duyarlılıkta



floresans ölçme özeliğine sahiptir. Benzer şekilde, FRRF (Fast Repetition Rate Fluorometers) fotosentez hızını ve buna bağlı olarak birincil üretimi hesaplamak amacı ile kullanılır (Kaiser vd., 2005).

Son 20 yılın biyolojik oşinografi açısından en önemli gelişmelerinden biri olan uydu oşinografisi yöntemi ile de birincil üretimi uygun algoritma ve modeller ile hesaplamak mümkündür. Bu teknik ile zamansal ve konumsal çözünürlük çok yüksek olmasına karşın uzaktan algılayıcı sensörün sadece su yüzeyinin birkaç metre yüzeyinden aşağısını ölçebilmesi sınırlayıcı faktördür (Kaiser vd., 2005).

### **1.1.5. Görünür Alan Radyometrisi (GAR)**

Günümüzde bir çok fiziksel ve biyolojik özellikler uydu teknolojileri ile gözlenebilmektedir. Bu bağlamda elde edilen parametrelerin elde edilme yöntemleri radyasyon ölçümlerinin yapılması ile olur. Radyasyon ölçümleri RTE olarak bilinen “Radyatif Transfer Eşitliği” ile ortaya konur. Bu eşitlik kompleks olup yayılan enerjinin madde ile çeşitli şekilde etkileşmesi prensibine dayanır (Mobley, 1994). Görünür Alan Radyometrisi (GAR) ise birden fazla dalga boyunda radyometreler tarafından ölçülen radyansın RTE’ yi kullanarak ilgilenilen fiziksel alanın optik karakteristiğini ortaya koyma işidir. Her ne kadar “Görünür Bölge” terimi kullanılsa da özellikle meteorolojik açıdan önemli olan yakın kızıl ötesi alanında GAR kavramının içine sokulması gerekir (Zaneveld vd., 2005).

### **1.1.6. Çalışmanın Önemi ve Karadeniz Ekosistem Yaklaşımı**

Karadeniz ekosistemi doğal veya antropojenik etkilerden dolayı uzun dönemli yıkımlara maruz kalmıştır. Ekosistemi strese sokan bu tip etkilerin sürekli olarak izlenmesi sistemin devamı ve sağlığı açısından son derece önemlidir. Ekosistem indikatörü olarak kullanılacak parametrelerden birisi Chl-*a* dır. Chl-*a*, fitoplankton bioması için indeks olarak kullanılabilme özeliği yanında, yeşil bitkilerden kaynaklı birincil üretim oranları ile de yüksek korelasyon gösterir. Karadeniz için Chl-*a* değerleri yıllardır farklı araştırma enstitüleri tarafından toplanmakta ve halihazırda bu konuda zengin bir veritabanı bulunmaktadır (Kopelevich vd., 2002).

Chl-*a* parametresinin uzaktan algılayıcı sensörler ile algılanması söz konusu su kolununun optik karakteristiğine bağlıdır. Özellikle kıyısal etkileşimin fazla olduğu ve çok hızlı değişen hidrografik koşulların hakim olduğu su kütlelerinin optik özeliği soğurma ve saçılma süreçlerinin karmaşıklığından dolayı Tip 2 sular kısmına girmektedir. Hidrografik özelliklerin daha az değişkenlik gösterdiği göreceli olarak daha durağan özelliklere hakim okyanus tipi su kütleleri Tip 1 sular kısmına dahil edilir (Guneroglu vd., 2005).

1970'li yılların sonlarında Nimbus uydu platformunun üstünde CZCS (Coastal Zone Color Scanner) ile ilk çevresel izleme amaçlı algılayıcı olarak 8 yıla yakın süre son derece önemli hizmetler vermiştir ancak zamanın teknolojik kısıtlamalarından dolayı elde edilen görüntüler çok kaliteli değildi. NASA'nın 1997 yılında SeaWiFS, 1999 da Terra-MODIS ve 2002 yılında Aqua-MODIS algılayıcıları ile çevresel izleme amaçlı uydular önemli gelişmeler kaydetmiştir (Blondeau vd., 2004). Söz konusu algılayıcılar daha fazla spektral band, daha güçlü ve stabil kalibrasyon ve daha iyi radyometrik ve geometrik çözünürlükleri ile ön plana çıkmıştır. Bu algılayıcılar sayesinde başlıca Chl-*a* olmak üzere bir çok çevresel parametre izlenebilmiştir. Bu özelliklerinden dolayı oşinografik çalışmaların vazgeçilmez veri kaynakları haline gelmişlerdir. Ancak, özellikle kıyısal alanlar ve Tip 2 sular için bu sensörlerin dışında ESA tarafından tasarlanıp fırlatılan MERIS algılayıcısının da bu alana yaptığı katkılar yadsınmaz (Doerffer vd.,1999).

Karadeniz ekosistemi doğal hayatın korunması gerekliliğinin yanısıra, özellikle ülkemiz balıkçılığı açısından ekonomik değer taşır. Karadeniz oşinografisinin sürekli izlenmesi ve muhtemel değişimlerin ortaya konması bu noktada önem kazanır. Bu genel amaç çerçevesi altında, yapılan çalışma spesifik olarak Karadeniz oşinografisinin hem yersel hem de sinoptik uydu oşinografisi tekniğiyle araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaca yönelik NASA uydu verilerinin kullanımı için 54009 kodlu proje ve ESA verisi için AO-2457 kodlu proje verileri kullanılmıştır. Çalışma sistematik bir şekilde, farklı algılayıcılardan aynı bölge için elde edilen verilerin uyumluluğu, uydu verisinin (Chl-*a*, SST) yersel kalibrasyonu ve düzeltilmiş uydu görüntülerinden birincil üretimin aylık bazda Karadeniz için hesaplanması konularını ele alır. Bunun yanında Karadeniz'in Anadolu kıyısı boyunca düzenli olarak örneklenmesi çalışmalarında toplanan optik ve askıda katı madde değişimi de irdelenmiştir.

AKM konsantrasyonları organik ve inorganik madde döngüsü ile ilgili süreçlerin açıklanması ve kaynak ile çöken miktar arasındaki ilişkinin ortaya konması açısından önemlidir. Denizlerde AKM' nin ana kaynakları, nehriler ile olan taşınım, atmosfer, kıyısal

erozyon ve bazı durumlarda herhangi bir etki ile tekrar çökeltilerin asılı hale gelmesidir (Karageorgis vd., 2000). Özellikle Karadeniz benzeri tabakalaşma gösteren su kütleleri için AKM taşınımı daha da büyük önem arz eder. Çünkü sürekli üretken bir deniz için tabaklaşmadan kaynaklanan kayıpların yeri yeni girdi ile kapanmalıdır aksi takdirde belli bir süre sonra sistem çöker.

Nehirler kara ve denizler arasındaki önemli yapılardır, yılda ortalama nehirler vasıtasıyla ( $5 \times 10^8$  t/yıl) organik karbon denizlere taşınır ve kıtasal kenar ile uzantıları üzerinde birikir. Tatlı su girdisi ile gelen partikül organik karbonun büyük bir kısmı hemen besin zinciri içine girerek oksidasyona uğrar geri kalan kısmı ise sediment çökeltisi içine karışır ve CO<sub>2</sub> için önemli bir çökeltme şekli meydana getirir (Saliot vd., 2002). İnsan eliyle ekosistemine müdahalenin en önemli örneklerinden birisi, Tuna nehri ve Karadeniz etkileşimidir. Tuna nehir deltasında artan erozyon, Romanya kıyı şeridindeki değişimler, kuzey batı kıyılarında meydana gelen anoksik şartlar, bentik canlıların yeterince beslenememesi ve fitoplankton tür topluluklarında meydana gelen değişimlerin hemen hemen tümü nehirlerin taşıdığı nutrientlerle direkt ilintilidir (Reschke vd., 2002). Denizlerde ötrifikasyonun temel nedeni nehirler ile gelen besin elementleri yüküdür. Karadeniz havzası 2 milyon km<sup>2</sup> lik direnaja alanının oluşturduğu 22 ülkeden oluşmakta bu neredeyse Karadeniz yüz ölçümünün 4 katı kadardır. En büyük deşarj Karadeniz'in kuzey batı kesimindeki büyük nehir deltalarında meydana gelir. Bu bölgede, meteorolojik, hidrotermal, hidrobiyolojik koşullara bağlı olarak yaz ve güz aylarında hipoksiya veya anoksiya görmek mümkündür. Bu anoksik alan 1973'lü yıllarda 3500 km<sup>2</sup> iken 1990 yılında 40000 km<sup>2</sup> yükselmiştir. Bu durum kıta sahanlığı üzerinde bulunan ve anoksik özellik taşımayan %13'lük su külesinde tehlikeye sokar (Tolmazin, 1985; Zaitsev vd., 2002). Sediment ve nutrient yükünden dolayı, nehir girdilerinin Karadeniz üzerinde önemli etkileri olur. Sediment su kolonunun optik ve hidrografik özelliklerini etkilerken, nutrientlerde planktonik yapıyı etkiler. Her iki durumda uydu görüntüleri kullanılarak ortaya konabilir (Barale vd., 2002). Tuna nehri tek başına yılda 190,7 km<sup>3</sup>/yıl deşarj ve 51,7 Mt/yıl sediment yükü taşır. Aynı şekilde Anadolu kıyısından Karadeniz'e 29,7 km<sup>3</sup>/yıl deşarj ve 51 Mt/yıl sediment taşınır (Panin ve Jipa, 2002). Bu durum, Karadeniz için Türkiye kıyılarında dökülen tatlı suların ne denli önemli olduğunu ortaya koyar ve hem zamansal hem de alansal olarak incelenmesi gerektiğini vurgular. Yapılan çalışmalar, Karadeniz oşinografisinin ortaya konması, uydu oşinografisinin operasyonel olarak kullanımı ve son kullanıcı verisi (PP) elde edilmesi açısından önemlidir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmalar birbirini tamamlayan dört aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada farklı algılayıcılardan elde edilen aynı alana ait Chl-*a* değerlerinin karşılaştırılması, ikinci aşamada, yerinde (*in-situ*) ölçülen Chl-*a* değerleri ile uydu görüntüsünden elde edilen Chl-*a* ve SST değerlerinin karşılaştırılması, üçüncü aşamada, R/V KTÜ DENAR-I ile yapılan oşinografik gözlem ve araştırma seferlerinden (MERCAC, Rize-Cayeli, Sürmene Koyu Zaman Serisi) elde edilen Chl-*a*, SST ve AKM verilerinin yatay ve dikey dağılımı, dördüncü aşamada, daha önceki üç aşamada elde edilen verilerin ışığında üç farklı birincil üretim (PP) modeli kullanılarak Karadeniz'e ait aylık ve yıllık potansiyel üretim değerlerinin hesaplanması şeklindedir.

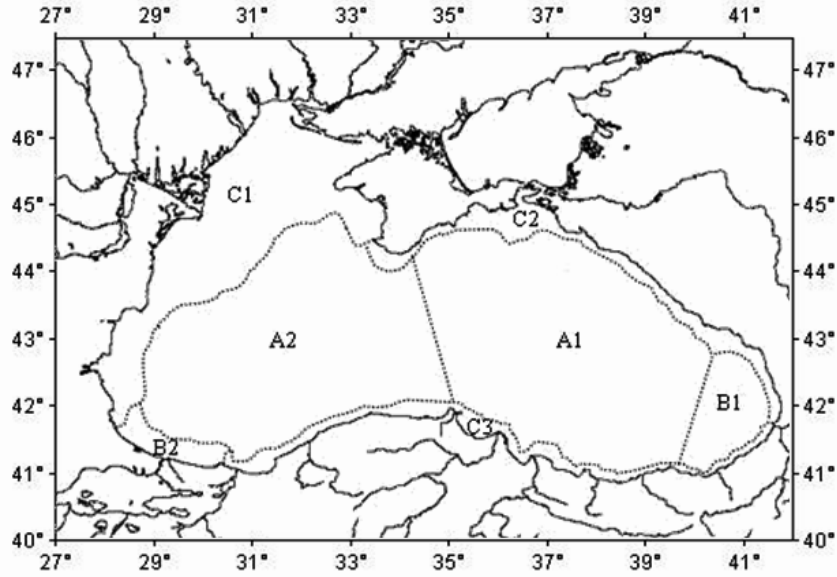
### 2.1. Çalışma Alanı

Karadeniz hemen hemen kapalı, İstanbul Boğazı ile Akdeniz'e dar bir kanal ile bağlanan orta enlem kuşağında (41<sup>0</sup>-46<sup>0</sup> N) bulunan bir su havzasıdır. Basenin batimetrisi, derinliği ~2200m'lere varan abisal düzlükler ile 5-200 km arasında değişebilen kıtasal kenar karakteristiğindedir (Poulain vd., 2005). Karadeniz yüz ölçümü 4,2x10<sup>5</sup> km<sup>2</sup> ve hacmi 5,3x10<sup>5</sup> km<sup>3</sup> ile dünya üzerindeki en büyük kapalı havza özeliğindedir (Özsoy ve Ünlüata, 1997). Kuzey'de Kırım Yarımadası ile Güneyde Karadeniz Türk karasularının ortalarına denk gelen kesim havzayı iki ana kısma ayırır. Literatürde her ne kadar çoğu zaman Akdeniz su havzasının bir parçası olarak görülse de Karadeniz, batıda, Tuna, Don, Dinyeper, Dinyester ile doğuda, Çoruh ve diğer bir çok irili ufaklı tatlı su girdisi ile beslendiği için Akdeniz'in aksine haliç tipi su karakteristiğindedir. Düşük tuzluluğa sahip yüzey suları, daha tuzlu Akdeniz orjinli suların üzerinde sürekli bir tabaka oluşturur. Dolayısıyla, 100-150 m seviyelerinde sürekli piknoklin tabakası meydana gelir ve dikey karışımın oluşmasını engeller. Özellikle, 500m den daha derin bölgelerde bulunan sular herhangi bir karışım etkisi altında olmayan durağan sulardır. Karadeniz'de suboksik zondan aşağıya doğru *Thiobacillus* bakterisinin oksidasyonundan ortaya çıkan, H<sub>2</sub>S konsantrasyonunda artış gözlenir. İki su kütlesi arasında oluşan redoks arayüzünün ilk 10 m' sinde her iki gazın yoğun konsantrasyonlarına rastlamak mümkündür. Redoks arayüzünün üstünde kalan su kütlelerinde yazın termoklin tabakası meydana gelir. Oksik

bölgede nitrat dikkate değer bir dağılım karakteristiği gösterir. Redoks arayüzünde nitrojen döngüsü son derece aktiftir ve nitrat, nitrit ve amonyum kaybı bu bölgede maksimumdur. Diğer benzer alanlar farklı olarak nitriklin tabakası yerine ara bölgede maksimum nitrat konsantrasyonu bulunur (Longhurst, 1998).

Genelde, 10-40 m arasında yaz döneminde mevsimsel termoklin tabakası oluşmaya başlar. Karadeniz’ de akıntı tüm havza boyunca varlık gösteren ve kıtasal yamacı takip eden siklonik yapıdadır. Akıntı birinci derecede yine siklonik rüzgardan kaynaklanan “kenar akıntısı” şekli ile anılmaktadır. Oluşan akıntı sistemi mevsimlere göre bazen tek bazen biri batı biri de doğu olmak üzere iki döngü ile temsil edilir. Kıyı topoğrafyası önemli ölçüde oluşan kenar akıntısının hız ve şeklini etkilemektedir. Yazın özellikle rüzgar stresinin azaldığı dönemlerde akıntı sistemi güney sahillerinde büyük çaplı kıvrımlar, girdap ve filamentler oluşturur (Poulain vd., 2005). Sınır akıntılarının neden olduğu kıvrım, girdap ve filamentler özellikle besin elementleri açısından zengin karasal suların yatay ve dikey olarak basenin diğer kısımlarına taşınmasında önemli bir rolü vardır (Özsoy ve Ünlüata, 1997). Bu aynı zamanda denizel birincil üretimini de etkiler. Özellikle yaz mevsiminde Anadolu kıyılarında muhtemelen topoğrafyanın neden olduğu ve baroklinik değişimlerin arttırdığı upwelling alanları meydana gelir (Sur vd., 1996; Özsoy ve Ünlüata, 1997; Longhurst, 1998). Genel olarak siklonik döngü içinde kalan alanların verimliliği, kıyısal şelf alanlarından daha düşüktür. Maksimum verimliliğin görüldüğü alanlar Kuzey Batı Tuna zonu ile Romanya’nın batı kıyıları ve Anadolu kıyılarıdır (Sur vd., 1996).

Çalışma alanı, 7 farklı alt bölgeye ayrılmıştır. Benzer yöntem farklı algılayıcılardan elde edilen verilerin karşılaştırılması aşamında da Doğu Karadeniz için uygulanmıştır. Tüm havza dikkate alındığında kıyısal alanlar (C1,C2,C3,B1,B2) alt bölgelerinden, açık deniz veya derin bölge olarak tanımlanan alan ise (A1,A2) alt bölgelerinden meydana gelmiştir. Belirtilen alt alanların 2 sınıfa ayrılması tamamıyla genel siklonik akıntı rejimi, batimetrik yapı ve her bir bölge için gerçekleştirilen yıl boyu değişimler göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Şüphesiz bu bölgeler sabit değil sınırları sürekli değişen dinamik alanlardır. Ancak sayısal analiz yapmak amacı ile bölgeler arasında sınırların varlığı kabul edilmelidir. Çalışma alanı ve alt bölgeler Şekil 2’ de verilmiştir.



Şekil 2. Genel çalışma alanı ve alt bölgeler (A1=Doğu Baseni, A2=Batı Baseni, B1= Batum Antisiklonu, B2= İstanbul Boğaz Girişi, C1=Tuna Deltası, C2=Kuzey Kıyı Zonu, C3=Güney Kıyı Zonu)

## 2.2. Materyal ve Metot

### 2.2.1. Farklı Algılayıcılardan Elde Edilen Görüntülerin Karşılaştırılması

MERIS, MODIS ve SeaWiFS uydularından daha önce belirtilen projeler kapsamında elde edilen Karadeniz'in Doğu Baseni'ne ait eş zamanlı görüntüler karşılaştırılmıştır. Farklı algılayıcılardan elde edilen verilerin karşılaştırılması bir çok yönden önem arz eder. Bunların başında, algılayıcılardan elde edilen verilerin hangi oranda güvenilir olabileceği, verilerin ne kadar uyumlu olduğu ve böylelikle birbirlerini ikame edip edemeyeceğidir. Birincil üretim hesaplama modellerine veya herhangi bir hidrodinamik modele, girdi olma özeliğinden dolayı söz konusu uyumluluk muhtemel zamansal ve mekansal boşlukları ortadan kaldıracaktır (Guneroglu vd., 2005).

Bu aşamada farklı zamanlara ait 5 adet MERIS, SeaWiFS ve MODIS-Aqua görüntüsü karşılaştırılmıştır. Öncelikle çalışma alanı aşağıdaki Şekil 3' te gösterildiği gibi batimetri ve hidrografik farklılıklar göz önüne alınarak 3 ayrı bölgeye ayrılmıştır. Yoğun dere girdisinden dolayı kıyı alanlarında aşırı organik madde, nutrient ve sediment yükü etkisi ile yaklaşık 200m derinlik zonu içindeki sular optik olarak karmaşık su kütleleridir.

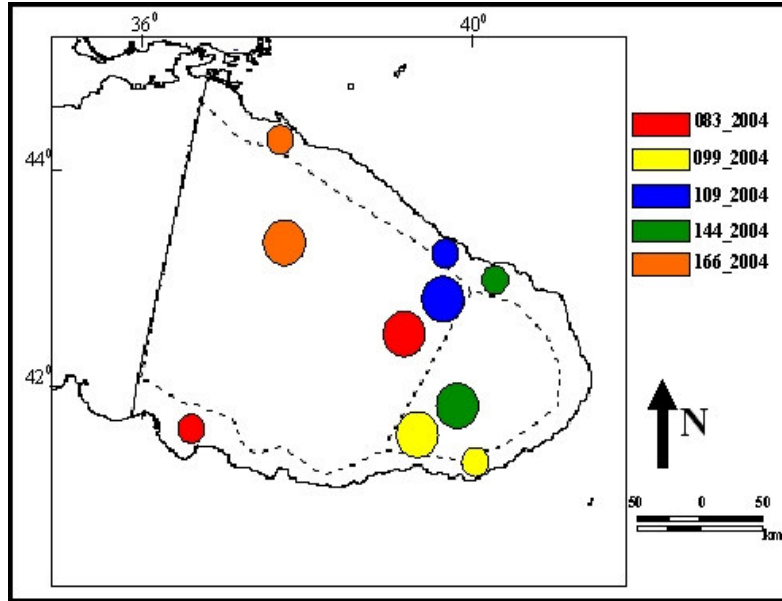
Çalışma alanı olarak Doğu Karadeniz baz alınmıştır, bölge kıyı alanı boyunca

ötrofik olup kıydan uzaklaştıkça mezotrofik ve karışık tip su kütleleri ile karakterize edilir. Sensöre göre kullanılan görüntüler Tablo 1’ de verilmiştir.

Tablo 1. Karşılaştırma amaçlı kullanılan görüntüler ve sensörleri

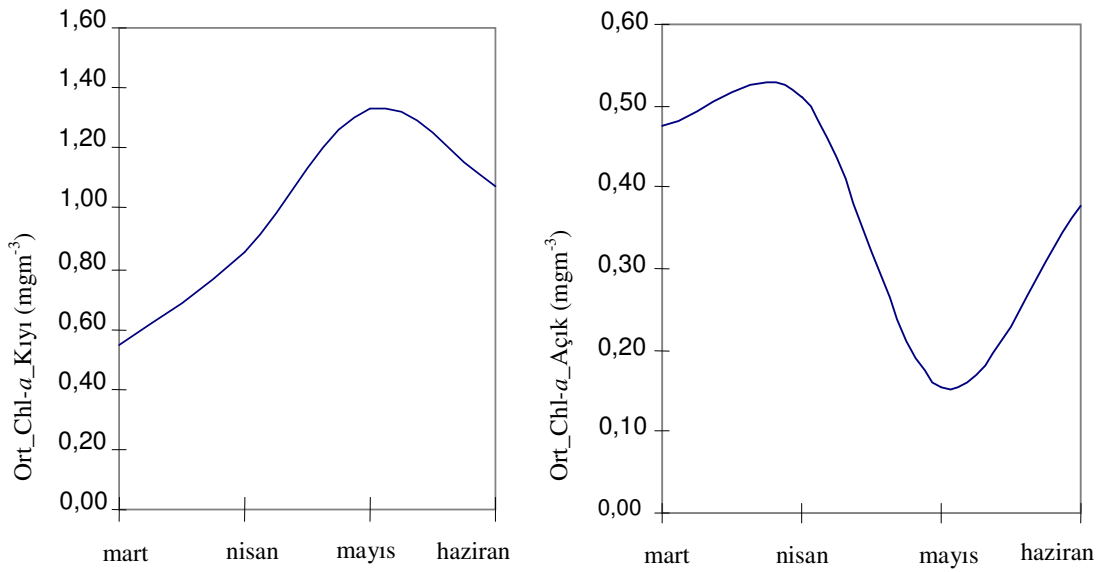
MERIS	SeaWiFS	MODIS-Aqua
MER_FR__2PNUPA20040323	S2004083092306.L2_MLAC	A2004083104000.L2_LAC
MER_FR__2PNUPA20040408	S2004099101533.L2_MLAC	A2004099104000.L2_LAC
MER_FR__2PNUPA20040418	S2004109102739.L2_MLAC	A2004109111500.L2_LAC
MER_FR__2PNUPA20040523	S2004144094346.L2_MLAC	A2004144101000.L2_LAC
MER_FR__2PNUPA20040614	S2004166095217.L2_MLAC	A2004166111000.L2_LAC

Aynı günlere ait Level2 MERIS, SeaWiFS ve MODIS-Aqua görüntüleri üzerinden çalışma alanına ait bölüm çıkartılmış ve Marcatör projeksiyonuna oturtulmuştur. MODIS-Aqua ve SeaWiFS (Level2) görüntülerinin yersel çözünürlükleri ~1-1,1 km ve MERIS(FR) ise 300m dir. Haritalama ve analitik çalışmalara uygunluk açısından MERIS(FR) 1,1km’ lik çözünürlüğe getirilmiştir. Tüm görüntüler aynı projeksiyona alındıktan sonra her bir görüntü için en temiz olan ve diğer görüntüde karşılık bulan bir açık bir de kıyı alanını temsilen alanlar işaretlenmiştir. Her bir bölge 3 ayrı algılayıcı verisinde piksel piksel karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Çalışma alanı karakteristik bölgeler, karşılaştırılan zonlar

Çalışmanın bu kısmında yersel doğrulama için mevcut veri olmadığından dolayı yapılmamıştır. Ancak aşağıda Şekil 4’ de gösterildiği üzere söz konusu zaman dilimi için farklı periyotlara ait veriler kullanılarak kıyı ve açık alanlar için dağılımlar verilmiştir. Kıyı alanları için 1993-1994 yılı veri setleri baz alındığında ortalama yüzey suyu Chl-*a* değeri 1,16  $\text{mgm}^{-3}$  iken 2001-2002 veri setlerinde bu değer 0,69  $\text{mgm}^{-3}$  değerine gerilemiştir. Açık alanlar için 1984-1995 arasındaki Chl-*a* verileri baz alındığında mart-haziran dilimi için ortalama 0,38  $\text{mgm}^{-3}$  civarındadır.



Şekil 4. Mart-Haziran dönemi için Kıyusal ve Açık Su kütlelerinin farklı örnekleme zamanlarından elde edilmiş yersel olarak ölçülmüş ortalama Chl-*a* değerleri

### 2.2.1.1. Kullanılan Algoritmalar

Kullanılan algoritmalar SeaWiFS için “OC4V4”, MODIS-*aqua* için “OC3M” ve MERIS için “Algal 1” ile “Algal 2” dir. Kullanılan 3 algılayıcıya ait sensör karakteristikleri Tablo 2’ de verilmiştir.



### 2.2.1.1.1. OC4V4 Algoritması

Algoritma maksimum band oranı esasına göre çalışır, pigment miktarını hesaplamak için 4. dereceden polinomal aşağıdaki eşitlik kullanılır. Algoritma ampirik esaslı olup (n=2853) noktadan alınıp florometrik ve HPLC analizleri sonucu ölçülen Chl-*a* değerlerinin OC4V4 sonucu hesaplanan Chl-*a* değerleri ile karşılaştırılması esasına dayanır. Bu veri setleri hem ötrofik hem de oligotrofik suları kapsar niteliktedir (O'Reilly vd., 2000).

$$C_a = 10^{(0.336 - 3.067 R_{4S} + 1.930 R_{4S}^2 + 0.649 R_{4S}^3 - 1.532 R_{4S}^4)} \quad (3)$$

$$R_{4S} = \log_{10}(R_{555}^{443} > R_{555}^{490} > R_{555}^{510}) \quad (4)$$

Burada;  $C_a$  değeri,  $\text{mgm}^{-3}$  cinsinden Chl-*a* konsantrasyonunu, “ $R_{4S}$ ” argümanı, maksimum band reflektans oranını tanımlamaktadır, “4” değeri kullanılan band sayısı ve “S” ise algılayıcı adının ilk harfidir. “R”, değeri her bir dalga boyu için ilgili dalga boyundaki orandır. Algoritma, 443nm, 490nm ve 510nm uzaktan algılanmış reflektans değerlerinin 555nm dalga boyuna oranlanması ile, reflektans oranlarının maksimumunu baz alarak çalışır.

### 2.2.1.1.2. OC3M Algoritması

OC4V4 algoritmasına benzer şekilde, OC3M’de ampirik esastır ve maksimum band oranına göre çalışır. Algoritma 3 band (443,448 ve 551) nanometreler arasında maksimum band oranını baz alır (Campbell, 2003).

$$C_a = 10^{(0.2830 - 2.753 R_{3M} + 1.457 R_{3M}^2 + 0.659 R_{3M}^3 - 1.403 R_{3M}^4)} \quad (5)$$

$$R_{3M} = \log_{10}(R_{551}^{443} > R_{551}^{490}) \quad (6)$$

Burada;  $C_a$  değeri,  $\text{mgm}^{-3}$  cinsinden Chl-*a* konsantrasyonunu,  $R_{3M}$  argümanı, maksimum band reflektans oranını tanımlamaktadır, “3” değeri kullanılan band sayısı ve “M” ise algılayıcı adının ilk harfidir. R, değeri her bir dalga boyu için ilgili dalga boyundaki orandır. Algoritma 443 nm ve 490 nm uzaktan algılanmış reflektans değerlerinin 551nm dalga boyuna oranlanması ile, reflektans oranlarının maksimumunu baz alarak çalışır. 443-551 oranı düşük Chl-*a* konsantrasyonları için her zaman maksimum olacaktır, ancak Chl-*a* konsantrasyonu artmaya başladığında, hem klorofil hem de organik madde soğurma katsayısı artar ve 443 nm deki reflektans değeri azalmaya başlar ve 488 nm maksimum oranı verir. Dolayısıyla algoritma, özellikle Chl-*a*, çözülmüş organik ve sediment yoğun kıyı sularında 488/551 oranını kullanır.

### 2.2.1.1.3. Algal 1 Algoritması

MERIS algılayıcısının radyometrik karakteristiği ve kalibrasyonu atmosferin en üst noktasında ölçülen radyans değerlerinin boyutsuz reflektansa dönüştürülmesi ile belirlenir (Antoine ve Morel, 2000; Morel ve Antoine, 2001).

$$p_w(\lambda) = \frac{\pi * L_w(\lambda)}{E_d(\lambda)} \quad (7)$$

Burada, “ $P_w$ ” yüzey reflektans değeri, “ $L_w$ ” geri yansıyan radyans değeri, “ $E_d$ ” gelen irradyans değeri, “ $\lambda$ ” dalga boyu, “ $A_i$ ” sabit katsayılar,

$$\log_{10}[X] = \sum_{x=0}^n A_i (\log_{10} \rho)^x \quad (8)$$

$$p = p_w(443) / p_w(555) \quad (9)$$

Burada, “p” değeri 443 nm ve 555 nm’ lerdeki reflektans oranına karşılık gelirken, “X” , Algal 1 pigment indeksini belirtir.

#### 2.2.1.1.4. Algal 2 Algoritması

Algal 2 algoritması yapay sinir ağı tipi algoritma olup, yüzey  $P_w$  değerini 15 MERIS bandı için logaritmik olarak ve solar zenit, azimut ve azimut farkını girdi katmanı olarak kabul edip 3 farklı optik saçırma katsayısını çıktı olarak verir. Bunlardan biriside “ $a_{pig}(442)$ ” dir.

$$X = k_1 [a_{pig}(442)]^{k_2} \quad (10)$$

$$k_1=26,212 \text{ (mgm}^{-2}\text{)}$$

$$k_2=0,77135$$

Burada, “X” Algal 2 algoritmasının ürettiği pigment indeksi (miktarı), “ $a_{pig}(442)$ ” değeri 442 nm boyunda pigment absorpsiyonunu belirtir ve birimi “ $m^{-1}$ ” dir (Antoine ve Morel, 1999; Moore vd., 1999; Antoine ve Morel, 2000; Aiken ve Moore, 2000; Morel ve Antoine, 2001; Doerffer ve Schiller, 2006).

Tablo 2. MERIS, MODIS-Aqua ve SeaWiFS uydularına ait sensör karakteristikleri (Morel vd., 1998).

MERIS	MERIS Band no	1	2	3	4	5	6	7
	Band merkezi (nm)	412,5	442,5	490	510	560	620	665
	Band genişliği (nm)	10	10	10	10	10	10	10
MODIS-Aqua	MODIS Band no	8	9	10	11	12	-	13
	Band merkezi (nm)	412	443	488	531	551	-	667
	Band genişliği (nm)	15	10	10	10	10	-	10
SeaWiFS	SeaWiFS Band no	1	2	3	4	5	-	6
	Band merkezi (nm)	412	443	490	510	555	-	670
	Band genişliği (nm)	20	20	20	20	20	-	20

Atmosferik düzeltmeler ile sensörün elde ettiği sinyali ilgilenilen parametreye dönüştüren algoritmalar uydu verilerine dayanan oşinografi bilim dalının temel taşlarıdır. Günümüzde mevcut algoritmaların çoğu daha çok klorofil ve klorofil ile ilintili olarak değişen yapıdaki, Tip1 sular için dizayn edilmiştir. Bu algoritmaların çoğu yersel veri setleri ile sensörün algıladığı verilerin karşılaştırılması sonucu ampirik olarak bulunan matematiksel bağıntılardır. Gerçekte, su kütlesine nüfuz eden ve su kütlesini terk eden radyans sadece klorofil değil, diğer bileşenlere ait sinyalleride içinde barındırır. Bunlar, çözülmüş organik ve inorganik maddeler, askıda katı madde ve diğer bitkisel olmayan yapılardır. Bu tip yapılar genelde Tip2 olarak bilinen, kıyısal sularda daha yoğundur. OC4V4, OC3M, Algal1 teorik olarak Tip1 sular için, Algal2 ise Tip2 sular için dizayn edilmiştir. Bu farklı algoritmaların birbirleri ile olan korelasyonunu herhangi bir su kütlesi için ortaya koymak özellikle uydu verisinin kantitatif analizlerde kullanılması aşamasında önemlidir. Çünkü, böylelikle zamansal ve yersel boşluklar alternatif görüntüler ile doldurulabilecektir. Bunun yanında bahsi geçen herhangi bir algılayıcı ile yapılan çalışmaların, diğer sensörler ile çalışıldığında hangi oranda doğru sonuç vereceği de bulunmuş olacaktır. OC4V4, OC3M, Algal1 ve Algal2 algoritmalarından Tip1 veya Tip2 sular için herhangi bir uygulama planlandığında ilgilenen çevresel parametrelerin yersel doğrulamasının yapılması gerekir.

### **2.2.2. Uydu Verilerinin Yersel (*in-situ*) Veri ile Karşılaştırılması**

Çalışmanın önceki bölümde açıklandığı üzere farklı sensörlerin birbiri arasındaki kalibrasyonu kadar, görüntülerden elde edilen çevresel parametrelerin (Chl-*a*, SST, K490 vb.) eş konum ve zamanlı denizel veri ile de karşılaştırılması gerekmektedir. Bu aşamada, genel olarak “denizlerde birincil retim” hesaplama yöntemlerine altlık teşkil eden parametrelerden Chl-*a* ve SST, 2004, 2005 R/V KTÜ DENAR I kıyısal seferi ile 2006 düzenli araştırma seferlerinden elde edilen veriler MODIS-Aqua uydu görüntüleri kullanılarak düzeltilmiştir. Görüntü işleme aşaması mümkün olduğunca, zamansal ve konumsal duyarlılık dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Ancak mevcut güne ait görüntülerin olmadığı durumlarda aynı haftaya ait Level3 kompozit görüntüler kullanılmıştır.

Ölçümler Şekil 5’te görüldüğü gibi Karadeniz’in Güney Kıyısı boyunca spektrofotometrik ve florometrik yöntem kullanılarak yapılmıştır. Uydu görüntüsünün yersel çözebilirliğinin, karasal etkiyi azaltmaya yönelik örnekleme istasyonlarının kıyıdan

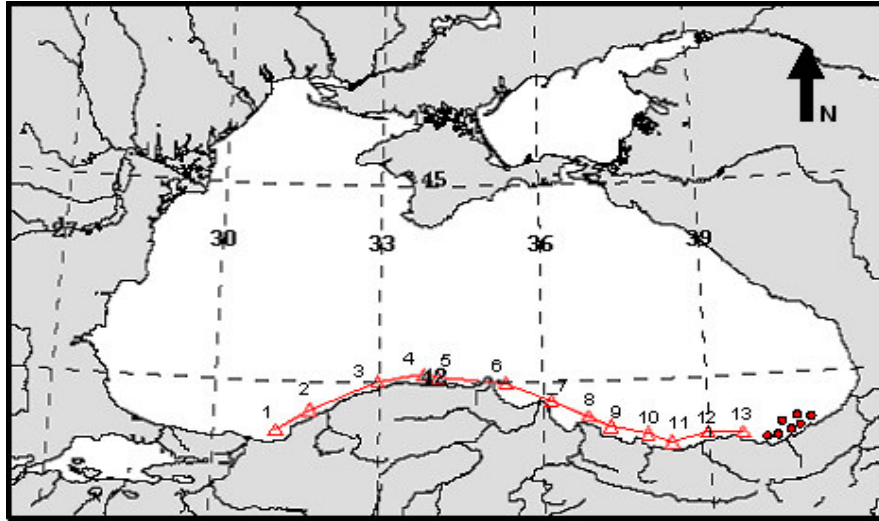
mümkün olduğunca uzak tutulmasına dikkat edilmiştir. Karşılaştırma, mevsimsel veri dikkate alınarak yapılmıştır. Böylelikle, kış, bahar ve yaz-güz şeklinde veri kümelenmiştir. Yersel ölçümlerden gelen veri güz mevsimi için sınırlı olduğundan yaz ve güz mevsiminin birlikte değerlendirilmesi düşünülmüştür. Yersel Chl-*a* verisi ile karşılaştırma veri örnekleme koordinatı ile örtüşen piksel etrafındaki 8 pikselin ortalaması ile değerlendirilmiştir yani 3x3 piksellik bir örnekleme kutusu kullanılmıştır. Bundaki amaç, yersel veriyi, muhtemel herhangi bir görüntü işleme sonucu kaynaklanabilecek negatif bir etkiye maruz etmekten sakınmaktır. Kullanılan görüntüler ve karşılaştırılan parametreler Tablo 3' te gösterilmiştir. Kullanılan MODIS-Aqua verileri standart OC3M Level3 ve SST görüntüleri standart 11 µm NLSST' dir. NLSST algoritması atmosferik düzeltmeyi lineer olmayan yöntemler kullanarak yapar (Brown ve Minnett, 1999). Yaklaşık, 30 yılı aşkın süredir, yapılan bir çok çalışmada uydudan elde edilen Chl-*a* değerlerinin gerçek değerler ile ne kadar örtüştüğü araştırılmıştır. Bu çabaların temelinde Chl-*a* değerlerini tahmin eden algoritmaların düzeltilmesi yatmaktadır. Böylelikle, denizlerdeki biyolojik süreçler daha iyi ortaya konabilecektir (Gardner vd., 2006).

OC3M standart verisinin belirsizlik düzeyini ortaya koymak son derece önemlidir, çünkü özellikle son yıllarda uydu verileri yoğun bir şekilde çeşitli iklim veya hidrolojik modellerde girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar, uydu görüntüsünden elde edilen veri genel olarak yersel veriden daha yüksek değerler tahmin etse de, yinede konumsal ve zamansal olarak bu yüksek tahmin oranı ortaya konabilirse elde edilen standart veri setlerinin düzeltilerek bu tip modeller girdi olarak kullanma ve böylelikle doğruya daha yakın sonuçlar verme şansı artacaktır. Bu aşamada, yersel veri setleri ile uydu görüntüsünden elde edilen veriler mevsimsel olarak, karşılaştırılmış ve her bir mevsim ve yıllık ortalama lineer bağıntılardan elde edilen düzeltme faktörleri önerilmiştir. Şekil 20' de 1:1 çizgisine bakıldığında her 3 periyot için OC3M in yersel verinin üzerinde tahminler yaptığı görülebilir. Veri setleri üzerinde tanımlayıcı istatistikler hesaplanırken Campbell (1995)'e göre Chl-*a*'nın doğal dağılımının lognormal olduğu gözönüne alınmış ve ortalama karesel hata (RMS) ile ortalama farktan kaynaklanan hata (Ort.Hata) değerler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum [\log(OC3M) - \log(in - situ)]^2}{N}} \times 100 \quad (11)$$

$$Ort.Hata = \frac{\sum [\log(OC3M) - \log(in - situ)]}{N} \times 100 \quad (12)$$

Verilerin mevsimsel karşılaştırılmasındaki amaç, uydu verilerinden elde edilen parametrelerin oluşturulmasında kullanılan geri yansıyan radyansın mevsime göre değişim gösterdiği gerçeğidir. Özellikle bahar ve yaz mevsimlerinde deniz suyu çözünmüş organik madde açısından zengin iken, güz ve kış mevsimlerinde daha farklı bir karakter ortaya koyar. Bunun yanında mevsimsel olarak net karakterin ortaya konması ancak ve ancak uzun dönemli ölçümlerin yapılması ile sağlanabilir. Bundan dolayı burada her bir mevsim için korelasyonlar ortaya konmuş ancak uydu verilerinin düzeltilmesi aşamasında yıllık ortalamalar kullanılmıştır.



Şekil 5. R/V KTÜ DENAR I, 2005 Güney Karadeniz seferi (kırmızı üçgen), diğer düzenli seferlerin yapıldığı istasyonlar (kırmızı daireler)

Tablo 3. Yersel karşılaştırma amacı ile kullanılan görüntüler

Örnekleme Yeri	Veri seti	Görüntü Kodu	Chl_a	SST	
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A20053132005320.L3m_8D_CHLO_9	√	N/A
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A2005320.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A2005320.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A20053212005328.L3m_8D_CHLO_9	√	N/A
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A20053212005328.L3m_8D_CHLO_9	√	N/A
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A20053212005328.L3m_8D_CHLO_9	√	N/A
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A20053212005328.L3m_8D_CHLO_9	√	N/A
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A20053212005328.L3m_8D_CHLO_9	√	N/A
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A20053212005328.L3m_8D_CHLO_9	√	N/A
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A20053212005328.L3m_8D_CHLO_9	√	N/A
Güney K.	K1y1	Kış_2005	A20053212005328.L3m_8D_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004111.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004139.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004181.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004189.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004195.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004203.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004209.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004223.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004252.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004258.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004265.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004272.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004279.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004300.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2004363.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Sürmene	K1y1	Yaz-Güz_2004	A2005165.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006053.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006054.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006054.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006054.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006054.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006055.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006055.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006055.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006096.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006096.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A20060892006096.L3m_8D_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006096.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006096.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006143.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006143.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006143.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006143.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006143.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A2006143.L3m_DAY_CHLO_9	√	√
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A20061772006184.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A20061772006184.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A
Güney D.	K1y1	Bahar_2006	A20061772006184.L3m_DAY_CHLO_9	√	N/A

### 2.2.3. Yerinde Ölçüm Tekniği ile Güney Karadeniz Oşinografisi

Günümüzde her ne kadar gelişmiş, 3B hidrolojik modeller, AKM taşınım modelleri, biyokimyasal ve enerji dönüşüm modelleri mevcut ise de, tüm bu modellerin ortak yanı yerinde ölçüm (*in-situ*) verisine ihtiyaç duymalarıdır. Bu amaçla, çalışmanın daha önceki bölümünde değinildiği gibi, su kolonuna düşen bir fotonunun soğurulması, saçılması veya geriye yansması esnasında önemli ölçüde su kütlesinin optik karakterisitini değiştiren parametrelerin birim su hacminde ne kadar oranda olduğunun bilinmesi gerekir. Bu parametrelerin en önemli olanları AKM (Askıda Katı Madde), Klorofil (pigmentler) ve ÇOM (çözünmüş organik madde) miktarıdır. Bunun yanında su kolonunda Chl-*a* değişiminin nasıl gerçekleştiğini bilmek, özellikle uzaktan algılama uygulamaları için son derece önemlidir. Bu bölümde, Güney Karadeniz Kıyı zonu boyunca AKM, Chl-*a* ve PAR (Fotosentetik Aktif Radyasyon) derinlik profilleri çıkarılmış ve her değişken kendi içinde ve karşılaştırmalı olarak, uzaktan algılama tekniğide dikkate alınarak incelenmiştir.

Bu aşamada temel amaç, AKM yükünü Güney Karadeniz suları için ortaya koymak ve kıyısız suları nasıl etkilediğini iredilemektir. Aşırı sedimet yükünün denizlerde PAR'ın nüfuz derinliğini etkilediği ve dolayısıyla tüm sistemin biyolojik verimliliği ile birlikte denizdeki görüşüde etkilediği bilinmektedir. Bunun yanında düşük sediment yükü ve dolayısıyla nutrient konsantrasyon eksikliği de birincil üretimi sınırlayacaktır. Bundan dolayı Chl-*a* ve PAR verileride bu bağlamda ele alınmıştır.

AKM tayini için, 47 mm, 0,44 µm GF/F filtreler 450 °C ön yakılmaya tabi tutulduktan sonra, 5 dakika 0,5 L saf su ile yıkanmış ve böylelikle filtreler yapısındaki yanıcı maddelerden arındırılmıştır. Daha sonra aynı filtreler 1 saat boyunca 75 °C ta kurutulmuş, tartımı yapıp kodlanarak desikatöre konmuştur. AKM konsantrasyonu için 1000 ml lik su düşük vakum altında filtre edilmiştir. 50 ml lik saf su ile filtre etrafındaki muhtemel tuz zerreciklerinin yıkanması yoluna gidilmiştir. Bundan sonra filtreler 75 °C 24 saat kurutulmuş ve ikinci tartım yapılarak AKM konsantrasyonu belirlenmiştir. Filtre yüzeyinde tutulan AKM konsantrasyonu organik ve inorganik kısmını ortaya koymak için filtreler 450°C, 4 saat yakılmış ve üçüncü tartım yapılmıştır (Strickland ve Parsons, 1972; Tilstone vd., 2002).

Denizel koşulların imkan verdiği tüm durumlarda, her bir istasyon için sıcaklık, tuzluluk ve bulanıklığa ait vertical profiller CTD (Conductivity, Temperature, Depth) (Aanderaa Inc.) kullanılarak ölçülmüştür. Fotik derinlik (% 1 ışık derinliği) 400-700 nm



aralığında Licor-PAR sensörü kullanılarak ölçülmüştür. Tablo 4' te ölçülen parametreler ve ilgili koordinatlar verilmiştir.

Chl-*a* el tipi Turner Design florometre ile ölçülmüştür. Ölçümlerin büyük bir kısmı teknede istasyon aralarında ya da gece gerçekleştirilmiştir. Suda ışık geçirgenliği için Seki disk ölçümleri yapılmıştır.

Tablo 4. Yerde ölçüm yapılan istasyonlar ve ölçülen parametreler

Yer	İstasyon	Latitude Deg.(N)	Longitude Deg.(E)	CTD	PAR	AKM	Su Örneği	Seki Disk
Akcakoca	BL_1	41,1569	31,1542	N/A	N/A	√	√	√
Zonguldak	BL_2	41,4861	31,7856	√	N/A	√	√	√
Cide	BL_3	41,9206	32,9881	N/A	N/A	√	√	√
Inebolu	BL_4	42,0508	33,8542	√	√	√	√	√
Ayancık	BL_5	42,0100	34,1025	√	√	√	√	√
Gerze	BL_6	41,8931	35,3178	√	√	√	√	√
Bafra	BL_7	41,7394	35,9767	√	√	√	√	√
Carsamba	BL_8	41,3708	36,8289	N/A	N/A	√	√	√
Unye	BL_9	41,2256	37,2483	√	√	√	√	√
Ordu	BL_10	41,0847	37,8947	√	√	√	√	√
Giresun	BL_11	40,9514	38,3278	√	√	√	√	√
Gorele	BL_12	41,0775	38,9814	√	N/A	√	√	√
Trabzon	BL_13	41,0606	39,6056	N/A	N/A	√	√	√

Elde edilen veriler, uygun yöntemler kullanılarak, çalışma alanına ait AKM, CTD, Chl-*a*, PAR ve Seki disk değişimi dikey profilleri çıkarılmıştır. Aynı veri seti, uydu verilerinin yersel veriler ile karşılaştırılması ve ışık sönümlenme katsayısının hesaplanması işlemlerinde de kullanılmıştır.

Çalışmanın yürütüldüğü zaman diliminde hava koşullarından kaynaklanan nedenlerden dolayı bazı istasyonlar için tüm parametrelerin ölçümü yapılamamıştır. Yapılan deniz seferi kapsamında elde edilen veriler Güney Karadeniz oşinografisi ve kıyusal karışım zonu ile ilgili yersel veri elde edilmesinin yanısıra birincil üretimin ortaya konması için yapılacak hesaplamalar için de destekleyici bilgi niteliğindedir.

#### 2.2.4. Potansiyel Birincil Üretimin Hesaplanması

Bu bölüme kadar gerçekleştirilen çalışmalar, farklı sensör kalibrasyonu, Chl-*a* değerlerinin yerinde ölçümler ile karşılaştırılması ve diğer yerinde ölçüm verilerinin irdelenmesi bu bölüm için altlık sayılabilir. Çünkü, bu bölümde hesaplanacak birincil üretim miktarı önemli ölçüde Chl-*a* değerleri dikkate alınarak yapılacaktır. Çalışma amacına uygun olarak Karadeniz 7 ayrı alt bölgeye ayrılmıştır. Bölümleme yapılırken başta batimetri, akıntı ve spesifik özeliği olduğu bilinen (Tuna Deltası, Batum Antisiklonu gibi) bölgeler de dikkate alınmıştır. Çalışma alanının tanıtımı bölümünde alt bölgeler ve sınırları verilmiştir.

Birincil üretim hesaplama yöntemleri basit amprik lineer modellerden, yarı analitik, ileri sayısal ve yapay sinir ağları modellerine kadar varan geniş bir değişkenlik gösterir (Scardi ve Harding,1999; Scardi, 2001). Ancak bu mevcut yöntemlerden hangisinin kullanılacağı mevcut veri miktarına ve cinsine ve ayrıca çalışılan alanın niteliğine bağlı olarak değişir. Çoğu zaman sınırlayıcı faktörler yersel veri eksikliği ve denizel süreçlerin lineer olmamasıdır. Birincil üretimi (PP) hesaplamak için 3 farklı model kullanılmıştır. Bunlar sırası ile, regresyon modeli, Platt Modeli (PM) ve Behrenfeld&Falkowski Modeli (BF) her bir modele ait model parametrisasyonu ve değişkenler aşağıda açıklanmıştır. Her bir modelin diğerine göre üstün ve zayıf yönleri olmakla beraber, temelde baz aldıkları değişkenler, Chl-*a*, %1 ışık derinliği, gün uzunluğu, ve fotosentez-ışık parametreleridir.

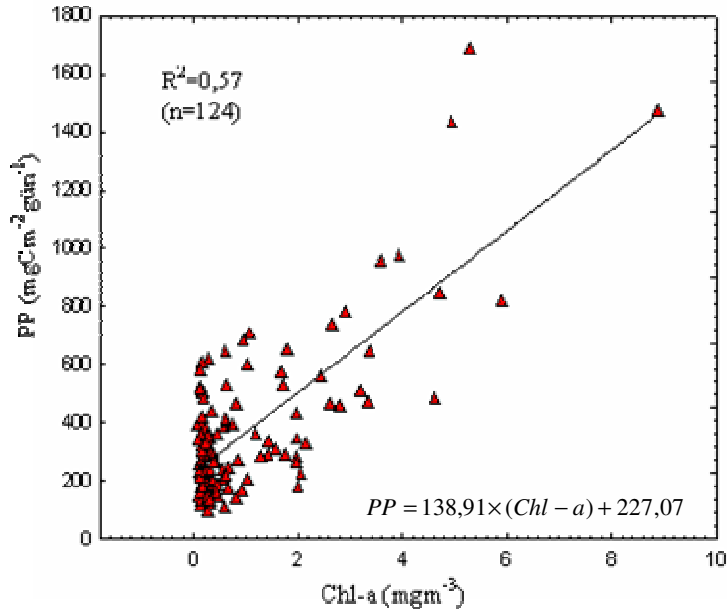
##### 2.2.4.1. RM Modeli

Regresyon modeli kurma aşamasında, Karadeniz' de daha önce gerçekleştirilen büyük çaplı oşinografik seferlerden faydalanılmıştır. Aşağıda , Tablo 5' te kullanılan veri setleri ve hangi oşinografik sefer ve enstitüye ait olduğu verilmiştir. NATO-TU Karadeniz projesine ait veriler proje kapsamında hazırlanan veritabanı şeklindedir (Vladimirov vd.,1998; Vladimirov vd., 1999).

Tablo 5. Kullanılan veri setleri ve sefer bilgileri

Araştırma Birimi	Gemi ve Sefer Kodu	Sefer Tarihi
SIO-RAS	Vityaz-64	Eylül-1978
SIO-RAS	Vityaz-06	Nisan-1984
SIO-RAS	Rift-07	Eylül-1985
SIO-RAS	Rift-08	Mayıs-1986
IBSS-NASU	Professor Vodyanitsky-25	Aralık-1987
SIO-RAS	Vityaz-15	Mart-1988
IBSS-NASU	Professor Vodyanitsky-28	Nisan-1989
SIO-RAS	Dimitriy Mendeleev-44	Temmuz-1989
SB-SIO-RAS	Vityaz-23	Ağustos-1991
IBSS-NASU	Professor Vodyanitsky-36	Ocak-1992
IBSS-NASU	Professor Vodyanitsky-37	Temmuz-1992
IBSS-NASU	Professor Vodyanitsky-37	Ağustos-1992
SB-SIO-RAS	Vityaz-26	Eylül-1992
IBSS-NASU	Professor Vodyanitsky-41	Nisan-1993
METU-IMS	Bilim-1995	Mart-1995

Yerinde ölçüm veri setlerinden, Chl-*a* ve yüzeye integre edilmiş (PP) değerleri kullanılarak iki değişken arasındaki uyum için regresyon eğrisi uydurulmuştur.

Şekil 6. Yüzey Chl-*a* ile yersel birincil üretimin karşılaştırılması

Yukarıda verilen oşinografik sefer verileri arasından uzun yıllara ait yüzey Chl-*a* değerleri ile integre edilmiş birincil üretim değerleri arasında aşağıdaki lineer (14) bağıntısı bulunmuştur (Ivanov vd., 1998). Daha önceki çalışmalardan elde edilen ve MODIS-Aqua OC3M' in Karadeniz için önerilen düzeltme faktörü ile uydudan elde edilen Chl-*a* görüntüleri piksel piksel düzeltildikten sonra elde edilen yeni düzeltilmiş Chl-*a* verileri ile (13) ve (14) bağıntıları kullanılarak birincil üretim değerleri hesaplanmıştır.

$$DChl - a = [B_{sat}] \times 0,3846 \quad (13)$$

$$PP = 138,91 \times [DChl - a] + 227,07 \quad (14)$$

Burada; PP (Potansiyel Birincil Üretim) ve birimi [ $\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ ], “DChl-*a*” (Düzeltilmiş Chl-*a*) ve  $B_{sat}$  standart uydu verisi [ $\text{mgm}^{-3}$ ] şeklindedir.

#### 2.2.4.2. PM Model Parametrizasyonu

Model parametrizasyonu ışık-fotosentez eğrisinin parametrizasyonu ile başlar Platt vd.(1980)' e göre;

$$P = BP_m^B \left( 1 - \exp \left[ -\alpha^B I / P_m^B \right] \right) \quad (15)$$

Burada, “P” değişkeni [ $\text{mgC}(\text{mgChl})^{-1}\text{h}^{-1}$ ] cinsinden anlık mutlak verimlilik, “ $P_m^B$ ” asimilasyon katsayısı ve birimi [ $\text{mgC}(\text{mgChl})^{-1}(\text{wm}^{-2})^{-1}\text{h}^{-1}$ ], “ $\alpha^B$ ” fotosentez ışık eğrisi eğim açısı ve birimi [ $\text{mgC}(\text{mgChl})^{-1}\text{h}^{-1}$ ], “ $I$ ” [ $\text{wm}^{-2}$ ] cinsinden ışık şiddeti ve “ $B$ ”, [ $\text{mgm}^{-3}$ ] cinsinden Chl-*a*' dır. Işığın düşey ile sönümlenmesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Kirk, 1994).

$$I(z) = I_o \exp(-K_d z) \quad (16)$$

Burada  $I(z)$  ( $\text{wm}^{-2}$ ),  $z$  (m) derinliğindeki aşağı yönlü irradyans ve  $I_o$  ( $\text{wm}^{-2}$ ) su yüzey filminin hemen altındaki aşağı yönlü irradyans değerleridir.  $K_d$  veya  $K_d(\text{PAR})$

parametresi, ışığın (PAR) su kolununda dikey sönümlenme katsayısıdır ve birimi [ $m^{-1}$ ]’ dir ve  $z$  (m) olmak üzere herhangi bir derinlikteki anlık üretim miktarı  $P(z)$  için,

$$P(z) = BP_m^B \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \alpha^B I_o e^{-K_d z} \right) / P_m^B \right] \right\} \quad (17)$$

Burada, “ $I_o^m$ ”, [ $wm^{-2}$ ] cinsinden yerel öğlen irradyasyonu ifade eder,

$$I_o(t) = I_o^m g(t) \quad (18)$$

Burada “ $g(t)$ ”, gün ışık değişim fonksiyonunu ifade eder

$$g(t) = \sin(\pi t / D) \quad (19)$$

Buradan hem zamansal hemde derinlik dikkate alındığında, herhangi bir zamanda ve herhangi bir derinlikteki için anlık üretim  $P(z,t)$  aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$P(z,t) = BP_m^B \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \alpha^B I_o^m \sin(\pi t / D) e^{-K_d z} \right) / P_m^B \right] \right\} \quad (20)$$

Denklem (20) hem derinlik hemde zaman (gün) için integre edilirse,

$$P_{z,t} = \int \int P(z,t) dz dt \quad (21)$$

$$P_{z,t} = BP_m^B \int_{t=0}^D \int_{z=0}^{\infty} \left\{ 1 - \exp \left[ - \left( \alpha^B I_o^m \sin(\pi t / D) e^{-K_d z} \right) / P_m^B \right] \right\} dz dt \quad (22)$$

$$P_{z,t} = 2A \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(I_*^m)^{2n-1}}{(2n-1)(2n-1)!} \frac{(2n-2)!!}{(2n-1)!!} - \pi A \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(I_*^m)^{2n}}{2n(2n)!} \frac{(2n-1)!!}{(2n)!!} \quad (23)$$

şeklinde yazılabilir .

Denklem (23) aşağıdaki gibi kısaltılmış şekilde yazılabilir.

$$PP = A \sum_{x=1}^x \Omega_x \left( I_*^m \right)^x \quad (24)$$

Polinomal yaklaşımla  $A=1$  ve  $g(t)=\sin(\pi t/D)$  için elde edilen katsayılar

Tablo 6. PM modeli  $X=5$  için katsayılar (Platt vd., 1990).

$g(t)$	$\Omega_1$	$\Omega_2$	$\Omega_3$	$\Omega_4$	$\Omega_5$
$\sin(\pi t/D)$	1,9004	$-2,8333 \times 10^{-1}$	$2,8050 \times 10^{-2}$	$-1,4729 \times 10^{-3}$	$3,0841 \times 10^{-5}$

$$A = (BDP_m^B) / (\pi K_d) \quad (25)$$

ve uydudan  $K_d$  değişkenini hesaplamak için (Morel ve Berthon, 1989).

$Z_{eu}$ ; % 1 ışık(PAR) derinliği [m],  $B_{sat}$ ; Uydu verisi Chl- $a$  [ $mgm^{-3}$ ]

ve

$B_t$ ; toplam Chl- $a$  olmak üzere

$$B_t = \left( (B_{sat})^{0,425} \right) * 38 \quad (26)$$

$$Z_{eu} = \left( (B_t)^{-0,746} * 568,2 \right) * D_1 \quad (27)$$

ve  $D_1=0,38637$  yersel verilerden elde edilmiş katsayı.

$$K_d = 4,6 / Z_{eu} \quad (28)$$

Model parametrelerinden “ $D$ ” gün uzunluğunu hesaplamak için

$$D = 0,133(180/\pi) \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (29)$$

Burada, “ $D$ ”, gün uzunluğu (saat), “ $\phi$ ”, enlem (derece), “ $\delta$ ”, solar deklinasyon açısı ve “ $d$ ”, yılın günü değişkenlerini temsil eder (Platt vd., 1990),

Solar deklinasyon açısı için;

$$\begin{aligned} (\pi/180)\delta = & 0,006918 - 0,399912 \cos \Gamma + 0,070257 \sin \Gamma - 0,006758 \cos(2\Gamma) \\ & + 0,000907 \sin(2\Gamma) - 0,002697 \cos(3\Gamma) + 0,00148 \sin(3\Gamma) \end{aligned} \quad (30)$$

$$\Gamma = 2\pi(d - 1)/365 \quad (31)$$

Rayleigh bir atmosfer için atmosferik albedo,

$$A_a = 0,28/1 + 6,43(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi) \quad (32)$$

Burada, “ $A_a$ ”, atmosferik albedo değerini temsil eder.

$$\sum_i F_i \approx F \text{ eşit olduğu kabul edilirse ve toplam albedo için } \sum_i A_{ci} \cong 0,5,$$

ve  $F=0,5$ ,  $m=0,18$  için,

$$I_T^m = I_e^m \left(1 - \sum_i A_{ci} F_i\right) [1 - m - A_a(1 - F)] \quad (33)$$

$$I_e^m = I_{sc} (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi) \quad (34)$$

$$I_o^m = 0,45 I_T^m \quad (35)$$

$$I_k = P_m^B / \alpha^B \quad (36)$$

$$I_*^m = I_0^m / I_k \quad (37)$$

Burada, “ $A_{ci}$ ”, i.seviyedeki bulut albedosu, “ $F_i$ ”, i. seviyedeki fraksiyonel bulutluluk, “ $m$ ”, su buharı soğurma katsayısı, “ $F$ ”, bulutluluk oranı, “ $I_e^m$ ”, yerel öğlen TOA irradyasyonu ve birimi [ $Wm^{-2}$ ], “ $I_T^m$ ”, yerel toplam öğlen kısa dalgaboylu irradyans [ $Wm^{-2}$ ], “ $I_k$ ”, fotoadaptasyon parametresi [ $Wm^{-2}$ ], “ $I_*^m$ ”, normalize edilmiş irradyans [ $Wm^{-2}$ ] ve “ $I_{sc} = 1353$ ” solar sabit [ $Wm^{-2}$ ] cinsinden yazılır.

Böylelikle denklem (25)’ te ifade edilen “A” parametresi denklem (26)’ dan (37)’ ye kadar kullanılarak denklem (24)’ te yerine konursa, gün boyunca birim yüzey için [ $mgCm^{-2}gün^{-1}$ ] cinsinden ilgilenilen nokta için potansiyel birincil üretim hesaplanmış olur (Platt vd.,1990). Işık ve fotosentez parametreleri için Tablo 7’ deki Finenko vd. (2002)’ den faydalanılmıştır.

### 2.2.4.3. BF Model Parametrizasyonu

Benzer şekilde burada da ışık ve fotosentez değişimi aşağıdaki denklem ile ifade edilirse;

$$P_z^B = [1 - \exp(-I_z / I_{max})] \exp(-\beta_d * I_z) \quad (38)$$

$$PP = P_{opt}^B * D * \int_{z=0}^{z_{eu}} \frac{[1 - \exp(-I_z / I_{max})] \exp(\beta_d * I_z)}{[1 - \exp(-I_{opt} / I_{max})] \exp(\beta_d * I_{opt})} * B_t dz \quad (39)$$

$$\int_z P_z^B = [I_o / I_o + 4,1] \quad (40)$$

$$PP = 0,66125 * P_{opt}^B * [I_o / (I_o + 4,1)] * Z_{eu} * B_{sat} * D \quad (41)$$

Burada, “ $P_z^B$ ”, optik derinliğe bağlı karbon tutma oranı, “ $P_{opt}^B$ ”, su kolununda maksimum karbon tutma oranı ve birimi [ $C(mgChl)^{-1}h^{-1}$ ], “ $I_z$ ”, z(m) derinliğinde irradyans [ $molquantam^{-2}$ ] cinsinden ve, “ $I_{max}$ ” optimum irradyans [ $molquantam^{-2}$ ] cinsinden,



“ $I_{opt}$ ” optimum  $z$  (m) ‘deki irradyans[molquantam<sup>-2</sup>], “ $\beta_d$ ”fotoinhibisyon eğimi [molquantam<sup>-2</sup>gün<sup>-1</sup>], “ $T$ ”, deniz yüzey suyu sıcaklığı [ °C ] şeklinde yazılabilir.

$P_{opt}^B$  için aşağıdaki bağıntı kullanılırsa,

$$P_{opt}^B = 1,2956 + 0,2749T + 0,0617T^2 - 0,0205T^3 + 2,462 \times 10^{-3}T^4 - 1,348 \times 10^{-4}T^5 + 3,4132 \times 10^{-6}T^6 - 3,27 \times 10^{-8}T^7 \quad (42)$$

Farklı enerji birimleri için gerekli birim dönüşümü Gohin vd.(2003)’ e göre yapıldığında ve denklem (41) kullanılarak [mgCm<sup>-2</sup>gün<sup>-1</sup>] cinsinden potansiyel birincil üretim hesaplanmış olur (Behrenfeld ve Falkowski, 1997). Burada günlük ortalama PAR değerleri için Finenko vd.(2002)’den faydalanılmıştır.

Tablo 7. Işık-fotosentez parametreleri (Finenko vd.,2002),  $P_{opt}^B$  Behrenfeld ve Falkowski (1997) ‘ye göre hesaplanmıştır.

Tarih	$\alpha_B$	$P_m^B$	$I_0$ (PAR)	$I_o^m$	$T$	N	$P_{opt}^B$
Ocak,1989,1992	0,11	2,80	68	158	8.0	20	3,44
Şubat, 1992	0,17	2,80	44	209	7,7	3	3,38
Mart,1989,1995	0,13	4,82	107	262	9,19	22	3,72
Nisan,1995	0,08	3,92	139	308	11,6	18	4,45
Mayıs,1990	0,07	4,64	165	334	15.0	5	5,68
Haziran,19891996	0,08	5,51	210	342	19,7	20	6,63
Temmuz,1990	0,08	5,94	193	335	20.0	25	6,62
Ağustos,1992	0,08	7,70	245	311	23.0	4	6,12
Eylül,1980	0,07	4,14	172	266	20.0	23	6,62
Ekim,1990	0,09	3,88	119	211	16.0	5	6,01
Kasım,1989	0,10	2,71	78	159	13.0	3	4,95
Aralık,1988	0,10	2,42	61	138	9.0	14	3,67

### 3. BULGULAR

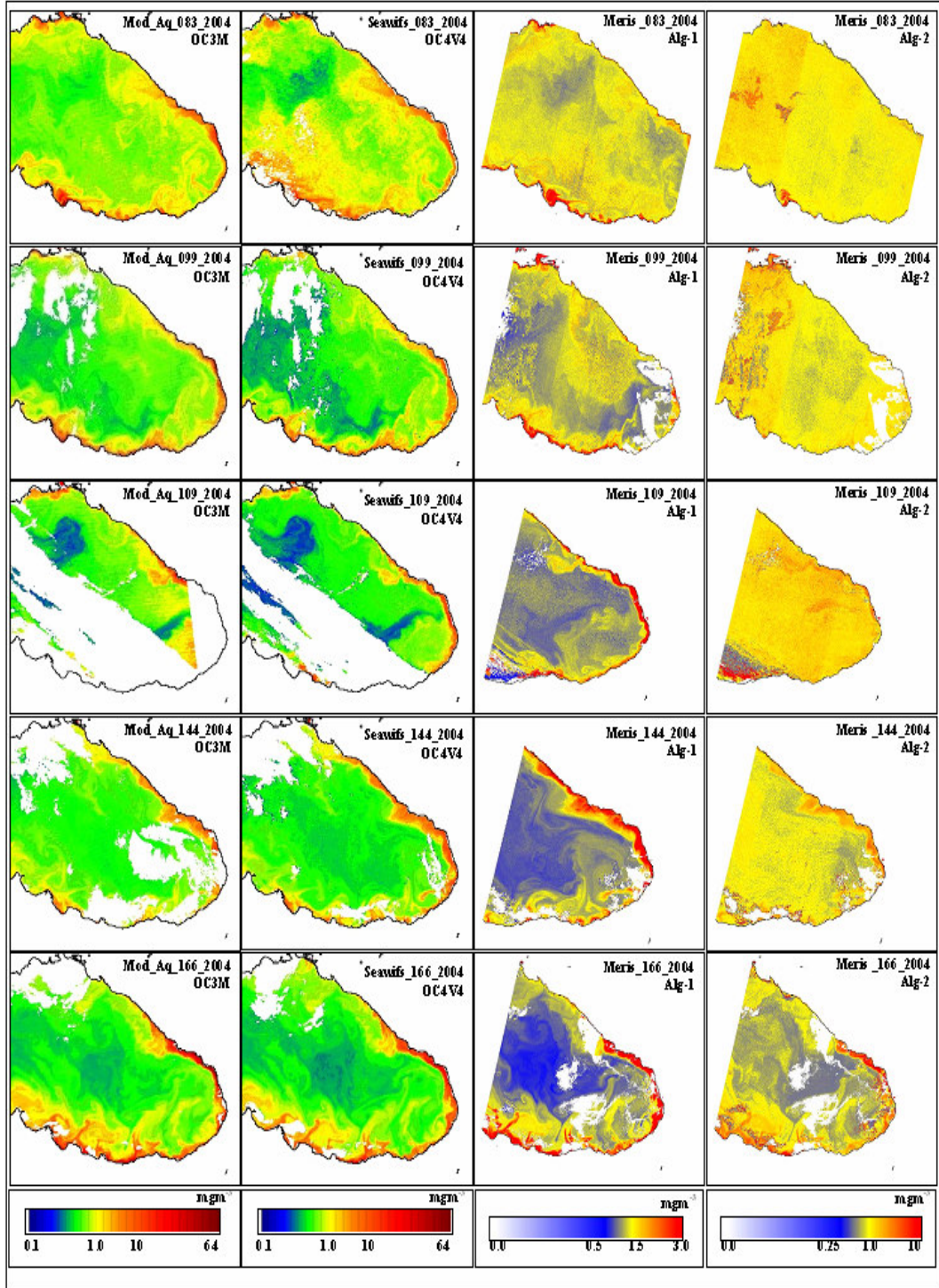
Bu bölümde, çalışmanın baştan sona tüm bulguları aşamalı olarak verilmiştir. Her bir aşama alt başlıklar şeklinde ele alınmıştır. Bunlar sırası ile, farklı algılayıcılardan elde edilen görüntülerin karşılaştırılması, uydu görüntülerinin yersel veriler ile karşılaştırılması, yerinde ölçüm verilerinin sunumu ve potansiyel birincil üretim model sonuçları şeklindedir.

Her bir bölüm bir sonraki bölümü tamamlayıcı niteliktedir. Elde edilen bulgular en yalın şekilde sunulmuştur. Farklı algılayıcılardan elde edilen 100' ü aşkın görüntü bu çalışma sırasında işlenmiş ve kullanılabilir hale getirilmiştir.

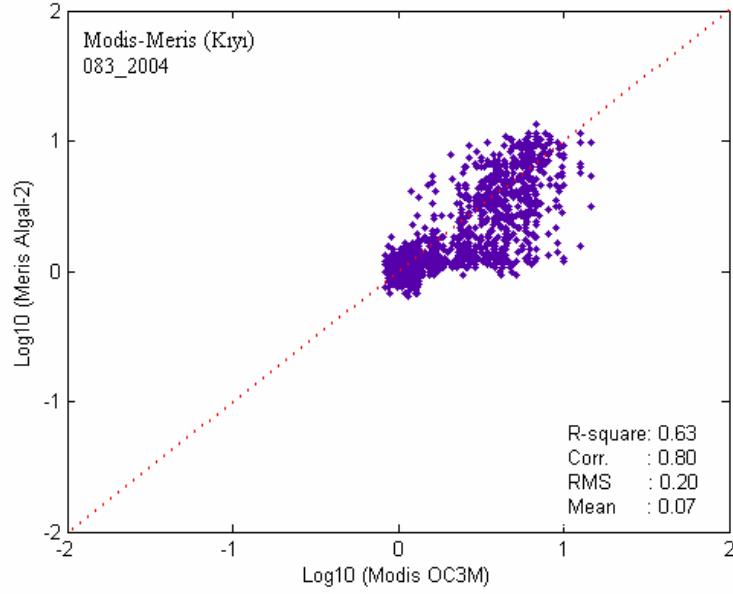
#### 3.1. MERIS, SeaWiFS ve MODIS-Aqua Karşılaştırması

Şekil 7' de görüleceği üzere farklı algoritmalar kullanılarak elde edilen aynı güne ait görüntülerde ki girdap, kıvrım ve filamentlerin hemen hemen aynı yapıda olduğu görülmektedir. Özellikle sinoptik oşinografi açısından yüksek zamansal çözünürlükler ile genel veya lokal hidrografik rejiminin izlenmesinde ne denli önemli bir araç olabileceğini ortaya koymaktadır. Görüntülerin kalitatif ve kantitatif karşılaştırılması aşamasında ortak en temiz bölgeler seçilmiş olmasına rağmen, uyduların geçiş zamanlarındaki farklılıklar, kullanılan farklı atmosferik düzeltme yöntemleri, güneş parlaması ve bulutluluk sonuçların farklılaşmasına neden olmuştur. Genelde yüksek korelasyon değerleri temiz görüntülerde görülmüştür. 083\_2004, 144\_2004 ile 166\_2004 kodlu görüntüler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan görüntülere ait bilgiler Şekil 8' den Şekil 19' a kadar verilmiştir. Genel olarak en yüksek  $R^2$  değeri ( $R^2 = 0,79-0,88$ ) arasında MODIS-Aqua/SeaWiFS arasında bulunmuştur. Sırasıyla, MERIS/SeaWiFS için  $R^2=0,76-0,79$  ve MODIS-MERIS için  $R^2=0,74-0,76$  arasında bulunmuştur. En düşük  $R^2$  değerleri ( $R^2=0,12$  ile  $R^2=0,45$ ) daha çok kıyasal alanlarda ortaya çıkmıştır. Kıyasal alanların sürekli değişen optik karakteristiği düşünüldüğünde düşük değerlerin çok hızlı değişen kıyasal bölgelerde ortaya çıkması doğal sonuç olarak görülebilir. MODIS-Aqua ile SeaWiFS arasında görülen yüksek korelasyon iki algortimanın oluşturulmasında kullanılan yersel verinin aynı olması ve algılayıcıdan elde edilen (L0) görüntüsünün benzer yollarla işlenmesinden kaynaklanmış olabilir. Kalitatif olarak incelendiğinde, OC4V4, OC3M ve Algal1 algoritması çıktılarının daha fazla

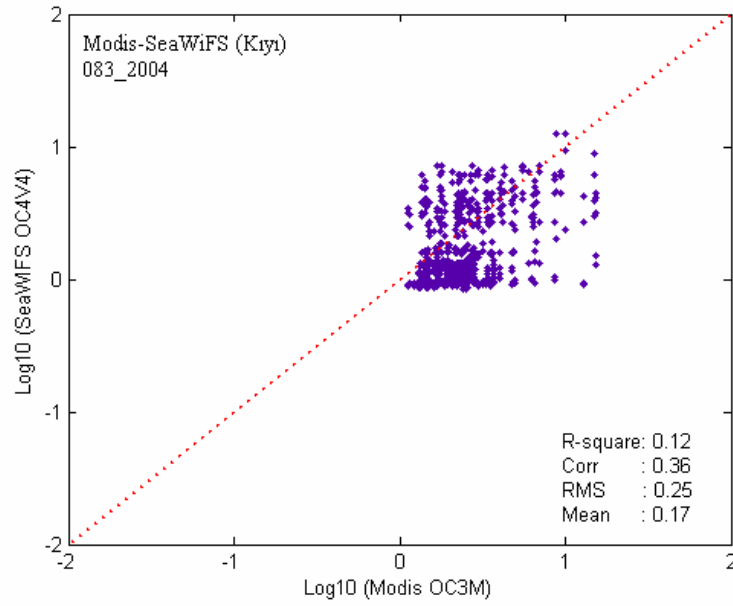
uyuşum içinde olduğu açıktır. Algal2 özellikle yaz dönemi başlangıcına denk gelen (166) nolu görüntüde benzer hidrografik süreçleri çözebilmiştir. Buda Algal 2' nin yoğun bulutluluğun hakim olduğu kış koşullarında performansının iyi olmadığını gösterir. Elde edilen bulgular ışığında band oranı algortimalarının Alagal2'den daha iyi bir performans orataya koyduğu söylenebilir. Ancak yine de daha kesin bir sonuca ulaşmak için her mevsim ve alanın araştırıldığı daha geniş bir veri analizi muhtemelen daha net sonuçlar verecektir. Ham MERIS görüntülerinin bir kısmında ortaya çıkan güneş parlaması görüntü kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Yapılan regresyon analiz değerlerinin geniş bir aralığa dağılması, çalışma alanının mevsimsel ve konumsal olarak stabil olmadığını ortaya koyan bir bulgudur.



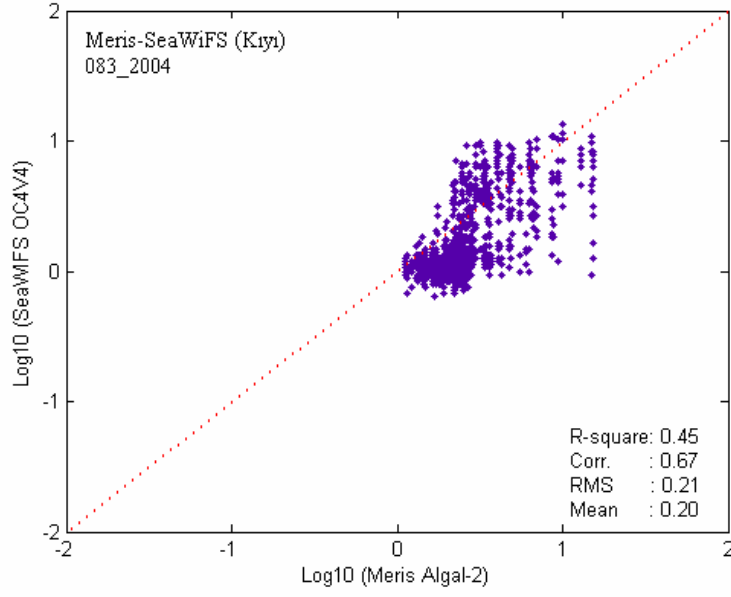
Şekil 7. Farklı algoritmalar kullanılarak elde edilen Chl-a dağılımı ( $\text{mgm}^{-3}$ )



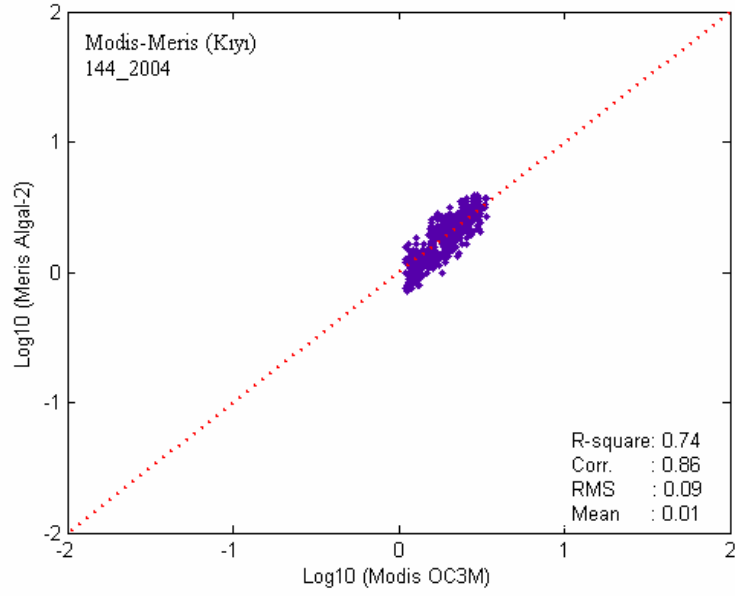
Şekil 8. 03 Mart 2004 tarihine ait kıyısal alan Modis-Meris verilerinin karşılaştırması



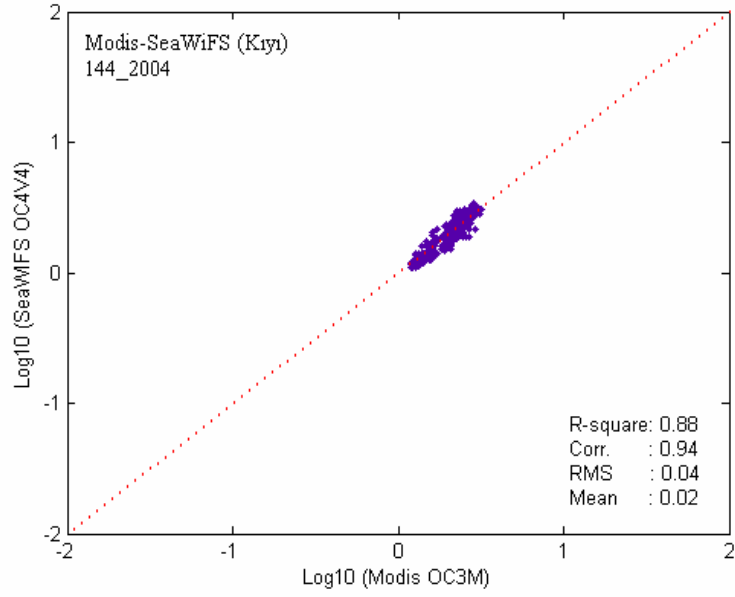
Şekil 9. 03 Mart 2004 tarihine ait kıyısal alan Modis-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması



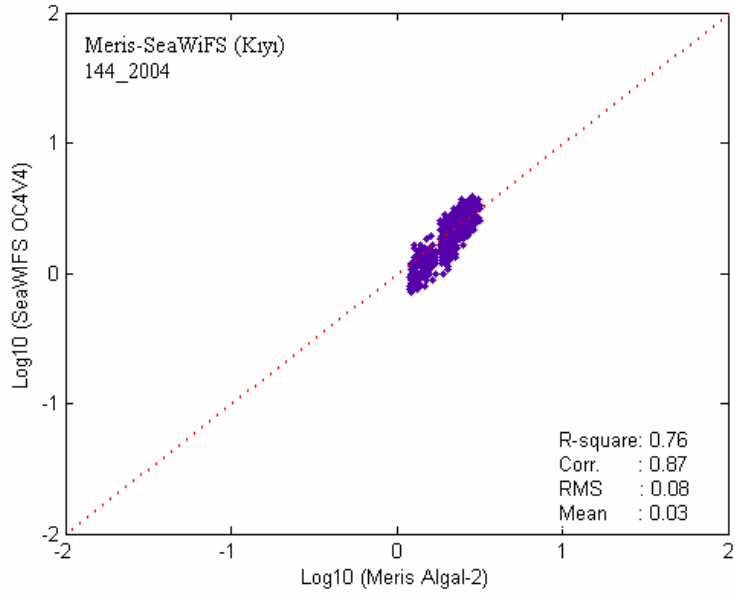
Şekil 10. 03 Mart 2004 tarihine ait kıyısız alan Meris-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması



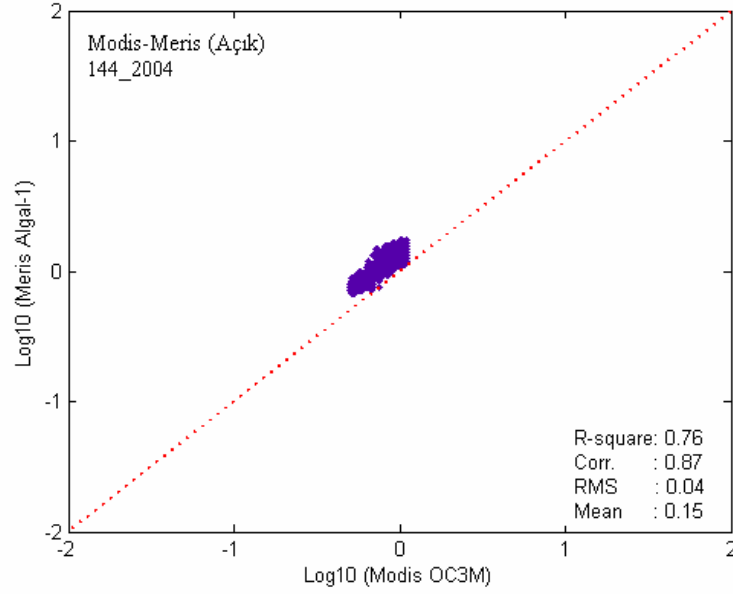
Şekil 11. 23 Mayıs 2004 tarihine ait kıyısız alan Modis-Meris verilerinin karşılaştırması



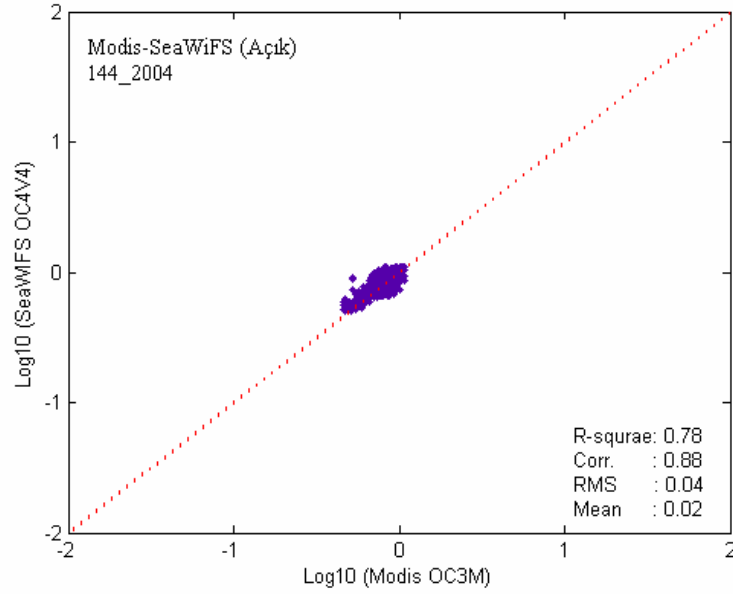
Şekil 12. 23 Mayıs 2004 tarihine ait kıyısal alan Modis-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması



Şekil 13. 23 Mayıs 2004 tarihine ait kıyısal alan Meris-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması

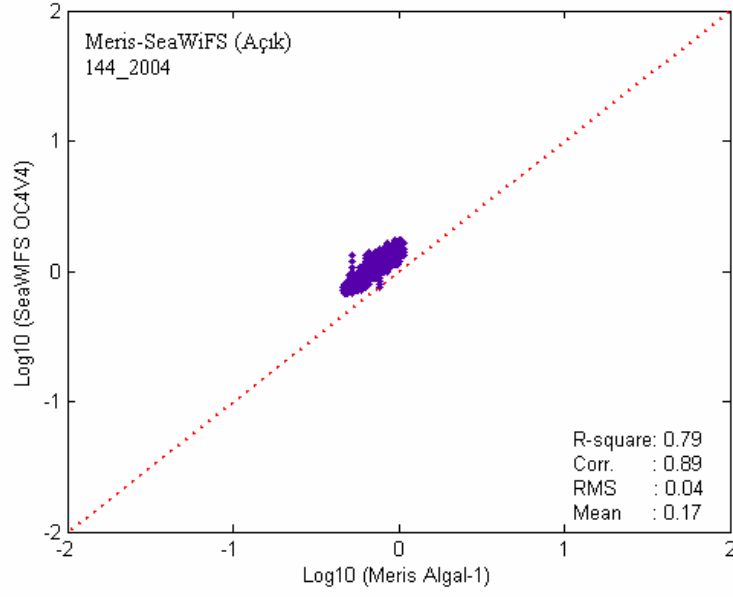


Şekil 14. 23 Mayıs 2004 tarihine ait açık deniz Meris-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması

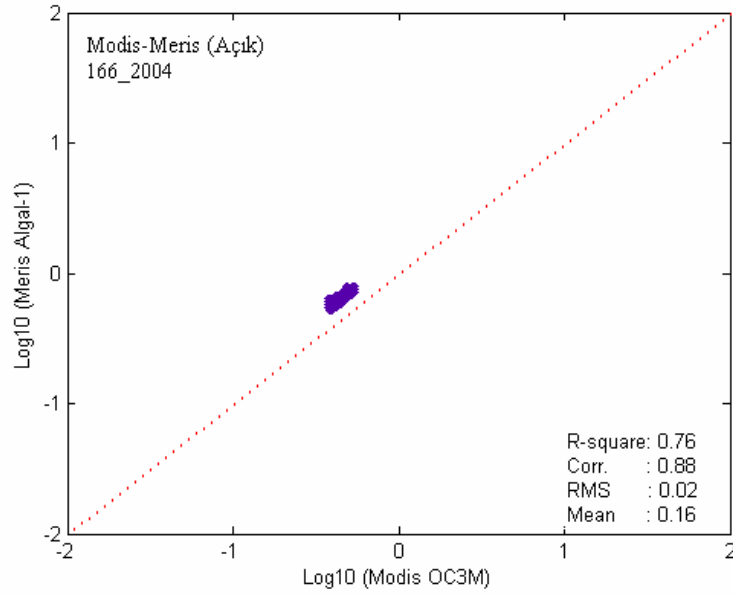


Şekil 15. 23 Mayıs 2004 tarihine ait açık deniz Modis-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması

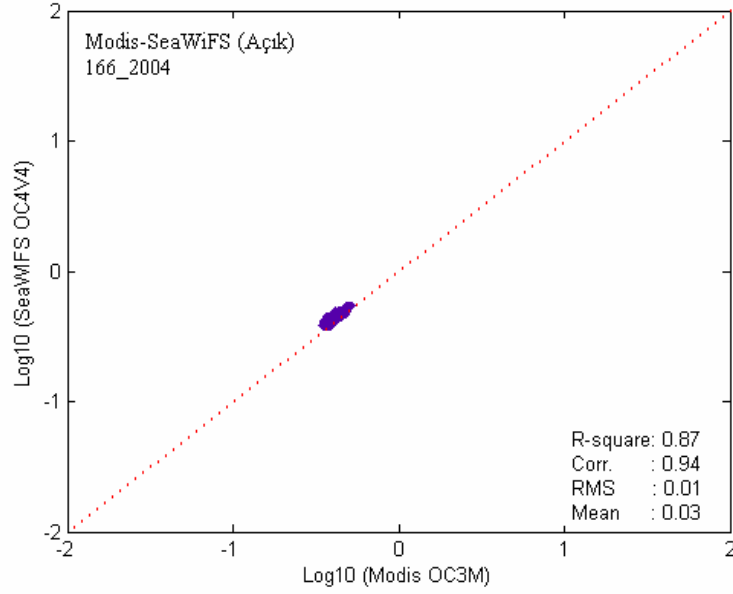




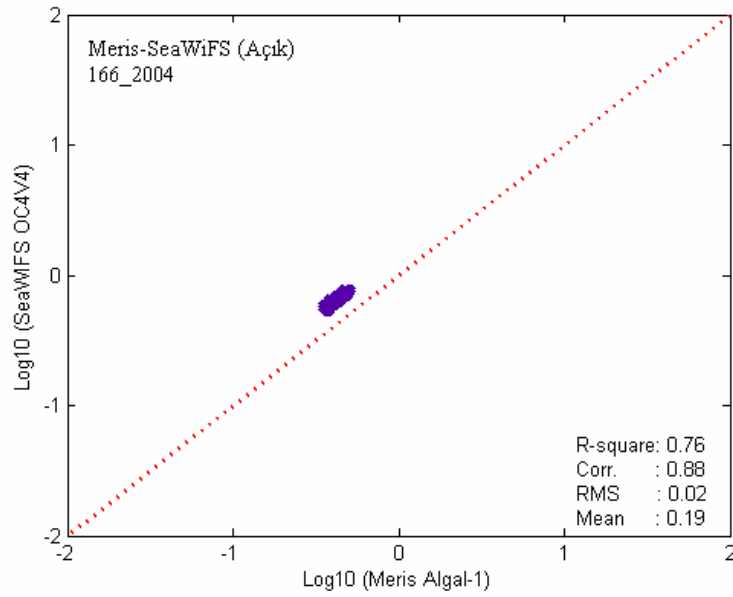
Şekil 16. 23 Mayıs 2004 tarihine ait açık deniz Meris-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması



Şekil 17. 14 Haziran 2004 tarihine ait açık deniz Modis-Meris verilerinin karşılaştırması



Şekil 18. 14 Haziran 2004 tarihine ait açık deniz Modis-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması

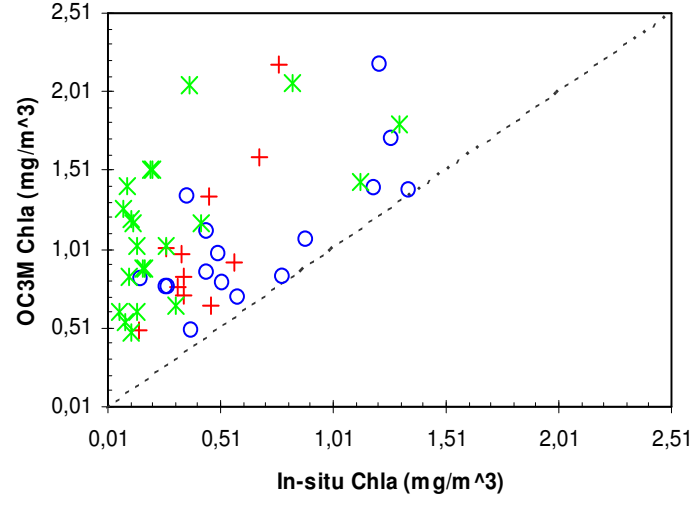


Şekil 19. 14 Haziran 2004 tarihine ait açık deniz Meris-SeaWiFS verilerinin karşılaştırması

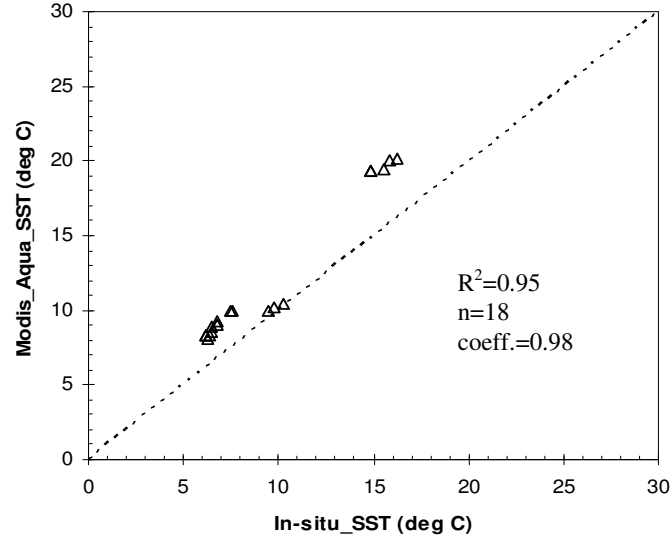
### 3.2. MODIS-Aqua SST ve OC3M Verilerinin Yersel Veriler ile Karşılaştırılması

Ölçülen tüm yüzey Chl-a değerleri tüm mevsimler için 0,11-1,35 mgm<sup>-3</sup> aralığında değişmiştir. Her bir veri seti için ortalama yüzey suyu değerleri 0,43±0,18 kış 2005, 0,67±0,40 yaz-güz\_2004 ve 0,31±0,35 bahar \_2006 için bulunmuştur. Tüm veriler dikkate alındığında uydu/*in-situ* oranı 2,6 olarak bulunmuştur. Bu tam manası ile OC3M' in Karadeniz için yüzey Chl-a değerlerini ortalama 2,6 kat fazla ölçtüğünü ortaya koymaktadır. En büyük korelasyon ( $R^2=0,61$ ) ile Kış-2005 veri setinde görülmüştür. Yaz-Güz peryodu için  $R^2=0,55$  ve Bahar peryodu için en düşük korelasyon değeri ile  $R^2=0,30$ , ( $P<0,05$ ) bulunmuştur. Tüm veri setlerine ait tanımlayıcı istatistik bilgiler Tablo 8' de verilmiştir.

MODIS-Aqua SST (11 µm) yerinde ölçüm verileri ile yüksek korelasyon göstermiştir  $R^2=0,95$  ve ( $p<0,05$ ). Bu yönü ile SST uydu verisi Chl-a verilerine göre çok daha fazla güvenilen bir uzaktan ölçüm parametresi olarak ortaya çıkar. Şekil 21' de görüleceği gibi çok küçük fazla tahmin hatası uydu geçiş zamanı farklılıkları gibi lokal faktörlerden kaynaklanmış olabilir. Şekil 22' de görülebileceği gibi 22 Şubat 2006 (2006053SST) görüntüsü için derin bölgelerde ortalama SST 6-7 °C civarında iken kıyı suları için 8-9 °C dir. Mart ayında 8-9 °C den 10-11 °C ye ve nisanın ayı başlarında 16-17 °C ve mayıs ayının sonlarına doğru 18-19 °C çıkmaktadır. Mayıs ayı görüntüsüne bakıldığında daha soğuk suların oluşturduğu anti siklonik kıvrımlar Gelendzik–Tuapse arası ile Türkiye kıyılarında gözlenebilmektedir. Yine aynı görüntüye bakıldığında Batum antisiklon bölgesinin ortalama SST değerlerinden 1-2 °C daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Bu da bölgenin özellikle hamsi balıkçılığı açısından önemini vurgulamaktadır.



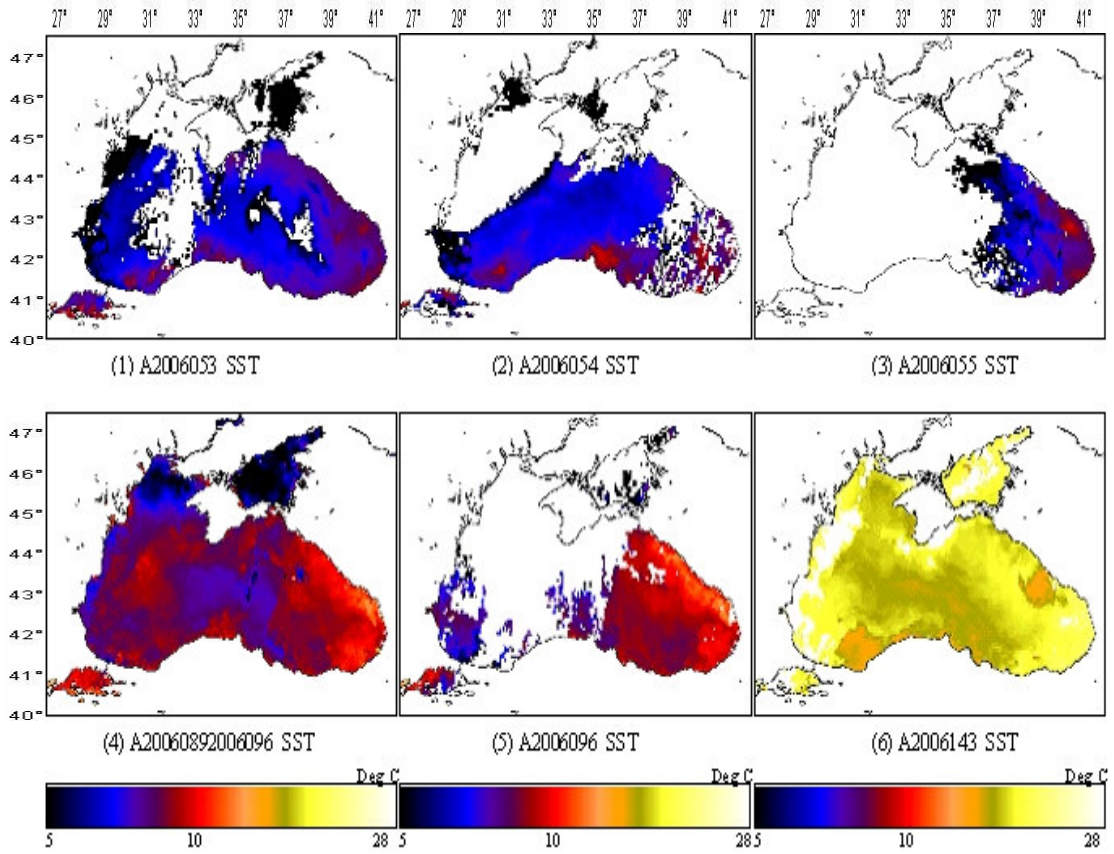
Şekil 20. Modis-Aqua OC3M ve yersel Chl-a değerleri (bahar periyodu "X", yaz-güz periyodu "O" ve kış periyodu "+" temsil edilmiştir)



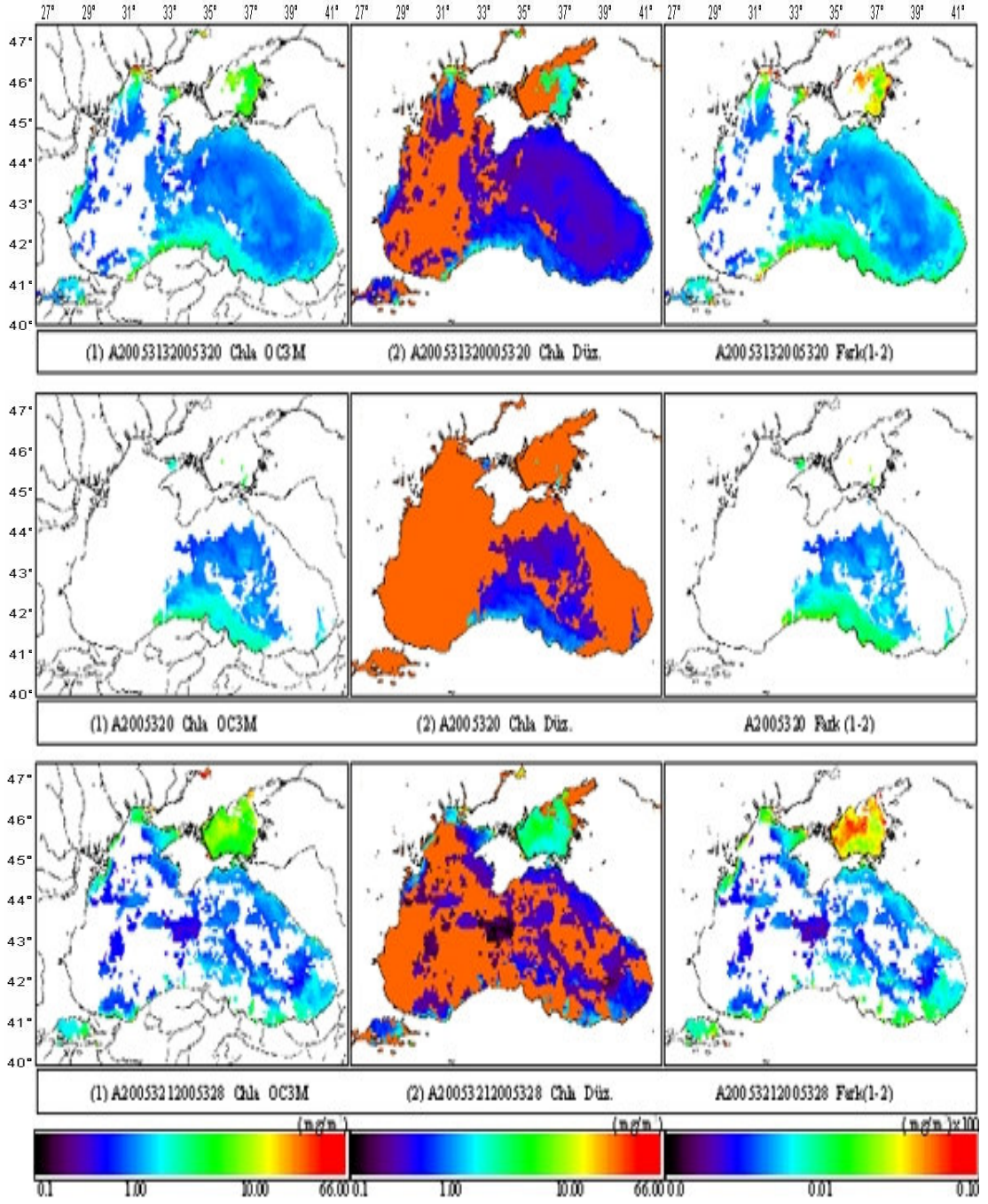
Şekil 21. Modis-Aqua SST ile yersel SST karşılaştırması

Tablo 8. Tüm veri setlerine ait tanımlayıcı istatistik bilgileri ile önerilen eşitlikler

Veri seti	N	R <sup>2</sup>	RMS (%)	Ort.Hata (%)	Eşitlik
Kış_2005	11	0,61	40,7	38,8	In-situ = 0.3939X(OC3M_Chla)
Yaz-Güz_2004	16	0,55	32,6	25,5	In-situ = 0.6269X(OC3M_Chla)
Bahar_2006	21	0,30	77,9	72,1	In-situ = 0.2886X(OC3M_Chla)



Şekil 22. Karşılaştırma amaçlı kullanılan MODIS-Aqua SST görüntüleri



Şekil 23. Kış\_2005 dönemine ait yersel veri ile düzeltilmiş görüntüler

### 3.3. Yerinde Ölçüm Verileri

Yapılan ölçümlerde Seki disk derinliği 3-11 m arasında değişmiştir. En düşük Seki disk derinliği BL\_7 istasyonu (Kızılırmak açıkları) ve en yüksek değer de BL\_3 istasyonunda (Cide açıkları) ölçülmüştür. % 1 ışık derinliği 7-21 m arasında ölçülmüştür. Aynı istasyonlar için hesaplanan toplam mevcut radyasyon sönümleme katsayısı ( $K_d$ ), 0,21- 0,66  $m^{-1}$  arasında değişmiştir. PAR derinlik ile eksponansiyel olarak azalır, bu denklem (16) daki gibi ifade edilebilir (Kirk, 1994).

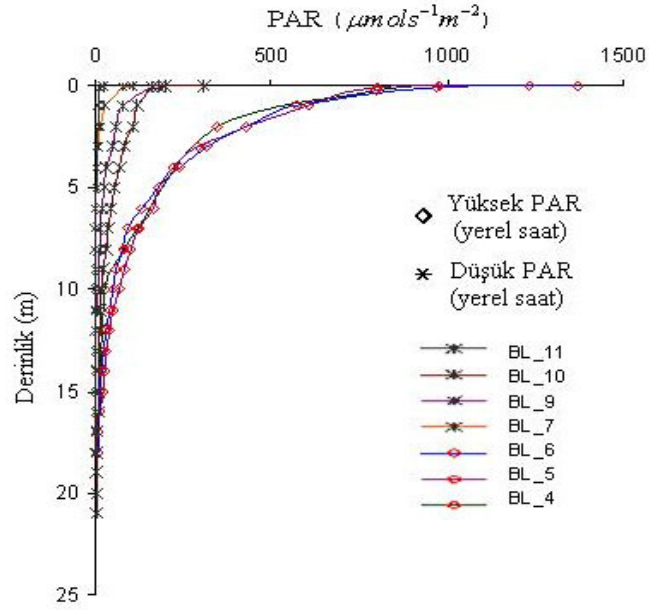
Çalışma boyunca elde edilen Chl-a dikey dağılımı BL\_4 ve BL\_2 istasyonları dışındaki tüm yerlerde yüzey maksimum yapıdadır. BL\_4 ve BL\_2 istasyonlarında klorofil maksimum ( $B_{maks}$ ) 25 m derinlikte rastlanmıştır. Kıyı sularının yüzey maksimum karakteristik göstermesi, kış mevsimine bağlı olarak yüzey sularının karışması ve aynı bölgenin tatlı tuzlu su karışım zonu oluşundan kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 39' da görüldüğü üzere çalışma boyunca ölçülen AKM değerleri oldukça yüksek değerler göstermiştir. 2-13,5  $gm^{-3}$  değer aralığı ve ortalama  $4,76 \pm 3,56 gm^{-3}$  yüzey sularında, 0,40-13,5  $gm^{-3}$  değer aralığı ve ortalama  $4,08 \pm 4,27 gm^{-3}$  25 m derinlik zonunda ve 0,70-35,30  $gm^{-3}$  değer aralığı ve ortalama  $2,52 \pm 2,09 gm^{-3}$  50m zonunda AKM değerleri değişim göstermiştir. 50 m lik zonda rastlanan  $35,3 gm^{-3}$  lük AKM ile aynı istasyondaki  $0,45 mgm^{-3}$  'lük Chl-a konsantrasyonu ölçülmüştür. AKM verilerinde diğer değişkenler ile örtüşen dikkate değer değişimler kırmızı çift çizgi ile gösterilmiştir. Beklendiği üzere maksimum AKM değerleri yüzeyden 25-35 m derinliğe kadar ulaşmış ve sigma- $\phi$  değeri 12,5 tan  $14 kgm^{-3}$  değişim zonundan sonra ortalama olarak daha düşük değerler gözlemlenmiştir. Karışım, dağılma ve çözülmeden sonra yaklaşık olarak AKM yüzey değerlerinin %50' si 50 m derinlik zonuna ulaşabilmiştir. AKM organik kısım için yüzey sularında aşağıya doğru, 0,2-5,3  $gm^{-3}$ , 0,1-2,8  $gm^{-3}$ (25 m) ve 0,1-6,2  $gm^{-3}$  50 m zonu için ölçülmüştür. Tüm istasyonlar dikkate alındığında en yüksek ortalama değer  $1,39 \pm 1,31 gm^{-3}$  değeri ile yüzey sularında bulunmuştur. Melen ırmağı etkisinde ve yoğun yerleşim merkezi olduğu bilinen Akçakoca açıklarında AKM organik kısım  $5,3 gm^{-3}$  ile yüzey sularındaki maksimum değeri göstermiştir. Bu bölgenin üzerindeki organik yük stresinin yüksek oluşuna işaret sayılabilir. Elde edilen CTD verileri 40-50 m ye kadar hemen hemen kıyasal homojen bir su kütlesi olduğunu ortaya koymuştur. Ortalama sıcaklık 13-14  $^{\circ}C$ , tuzluluk, %16-17 ve sigma- $\phi$  13-14  $kgm^{-3}$  civarındadır. Belirtilen sigma- $\phi$  sınır değeri bu mevsimde bölge için yüzey karışım tabakasının sınırı ile soğuk ara tabakanın başlangıcı

sayılabilir. Maksimum  $K_d$ (PAR) değeri BL\_4 istasyonunda rastlanmıştır eş zamanlı yapılan Seki disk görünürlük derinliği ~5m bulunmuştur. Yine şaşırtıcı şekilde ( $B_{maks}$ ) değeri bu istasyonda 25 m de bulunmuştur. Bu bölgede örneklemeden hemen önce başlamış ve devam eden bir upwelling söz konusu olabilir.  $K_d$ (PAR) değeri ortalama  $0,36 \pm 0,17 \text{ m}^{-1}$  bulunmuştur, Tablo 9'da sefer boyunca ölçülen değerler verilmiştir. AKM su kütesinin optik karakteristiğini önemli ölçüde saçılma ve az da olsa soğurma ile değiştirir. Geriye saçılan ışığın miktarını bilmek oşinografi için son derece önemlidir ve bir çok problemin çözümü için kullanılır. Özellikle uzaktan algılama ile birleştirildiğinde su kalitesi ve sediment gözlemleri için vazgeçilmez bir araçtır. Aşağıda, Şekil 24' te 2005 seferi için ölçülen PAR profilleri verilmiştir.

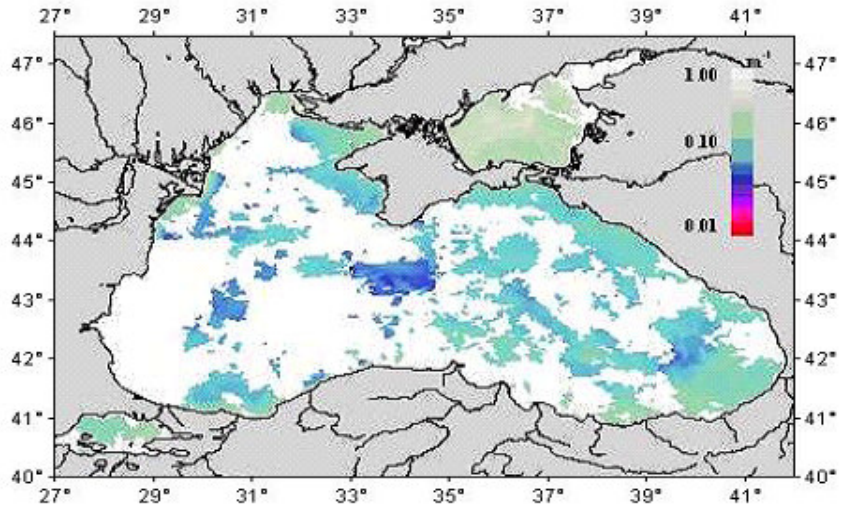
Tablo 9. MERCAC-2005 seferi  $K_d$  değerleri

İstasyon_Kodu	$K_d$ (PAR)	Std
BL_4	$0,66 \pm 0,36$	
BL_5	$0,29 \pm 0,16$	
BL_6	$0,27 \pm 0,08$	
BL_7	$0,56 \pm 0,26$	
BL_9	$0,28 \pm 0,14$	
BL_10	$0,21 \pm 0,09$	
BL_11	$0,25 \pm 0,11$	





Şekil 24. 2005\_seferi PAR profilleri



Şekil 25.  $K_d(490)$  MODIS-Aqua haftalık kompozit görüntü. Beyaz alanlar veri olmayan bulut ile kaplı alanlardır

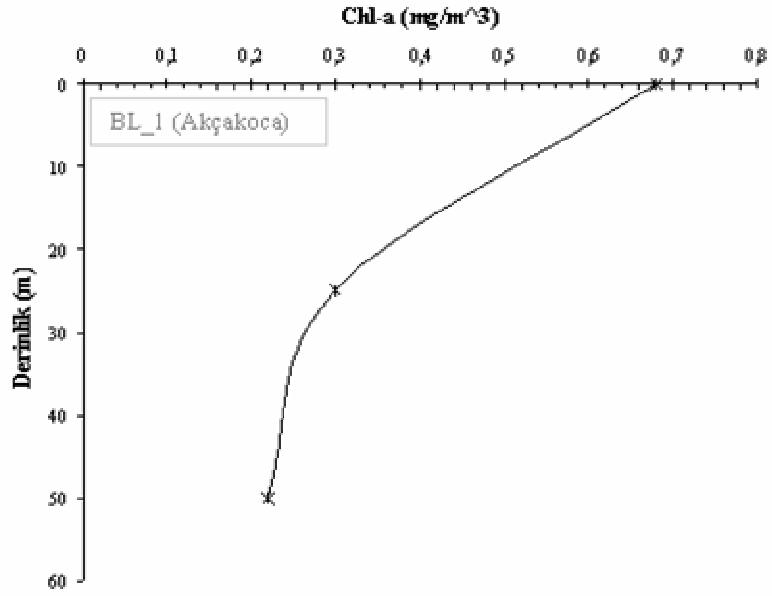
Şekil 24'e bakıldığında MERCAC-2005 seferine ait PAR profillerinin iki sınıfa ayrıldığı göze çarpacaktır. Sefer zamanı ve hava şartlarından kaynaklanan bazı sınırlamalardan her istasyonda, PAR ölçümü için ideal sayılan 11:30-12:30 zamanlamasına uyulmamıştır. Bu nedenle fotosentetik aktif radyasyon yoğunluğu havanın bulutlu olduğu yada optimum ölçüm zamanı dışındaki yerlerde düşük değerler vermiştir.

Aynı örnekleme periyoduna ait MODIS-Aqua ( $K_d$  490) parametresi kompozit görüntü kullanılarak elde edilmiş, Şekil 25'te görüleceği üzere kıyı zonu için ışığın 490 nm deki sönmülleme katsayısı 0,1-0,5  $m^{-1}$  aralığındadır. Ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında belirgin bir uyuşum söz konusudur. Boğaz'ın kuzey çıkış zonunda Yılmaz vd.(1998a) tarafından yapılan bir çalışmada  $K_d$ (PAR) değeri 0,25  $m^{-1}$  bulunmuştur. Benzer şekilde Ediger ve Yılmaz (2003) eylül-ekim periyodunda batı siklonunda 0,19  $m^{-1}$  şeklinde rapor etmişlerdir (Ediger ve Yılmaz, 2003).

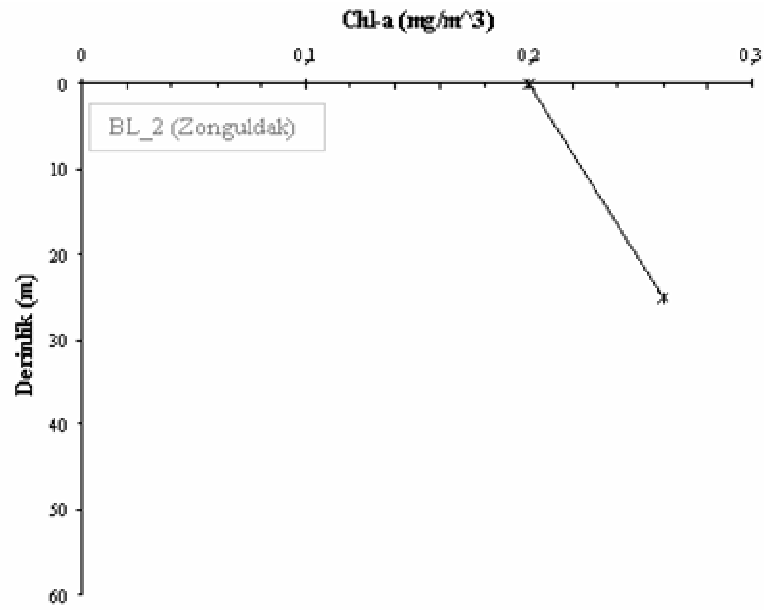
MERCAC-2005 araştırma seferi süresince ölçüm yapılan istasyonlarda Chl-a değerleri 0,15-0,77  $mgm^{-3}$  arasında değişim göstermiştir. Yüzeysel sularında 1,39± 1,31  $mgm^{-3}$ , 25 m de 0,04-0,62  $mgm^{-3}$  arasında ve ortalama 0,22±0,15  $mgm^{-3}$ , 50 m katmanında, 0,01-0,45 $mgm^{-3}$  aralığında ve ortalama 0,08± 0,14  $mgm^{-3}$  ölçülmüştür. Chl-a dağılımına ait, istasyon profilleri Şekil 26'dan Şekil 38'e kadar verilmiştir.

Yapılan yerinde ölçümlerde su kütlelerine ait dikey CTD profilleri çıkarılmıştır. Ölçüm yapılan alanlara ait hidrografik yapı homejen su kütlelerinin varlığına işaret etmektedir. Ölçüm yapılan alanın kıyısal karışım zonu olmasından dolayı bu durum şaşırtıcı değildir. Yapılan çalışmanın direkt konusu olmadığından burada CTD verilerine yer verilmemiştir.

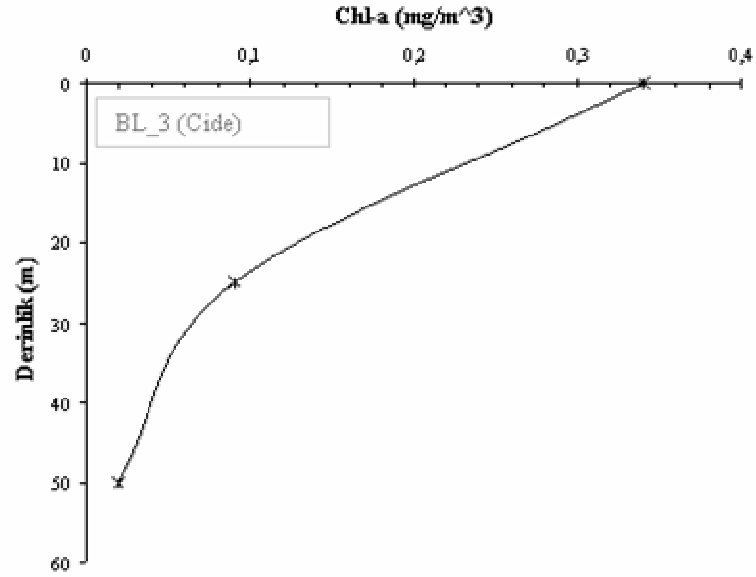
Karadeniz baseninde yapılan oşinografik çalışmaların daha çok açık bölgelere ait verileri baz alması, kıyısal alanda gerçekleştirilen MERCAC-2005 benzeri seferlerin önemini biraz daha arttırmaktadır. Çünkü hem seferin zamanlanması hem de kıyısal alanın çalışılması mevcut oşinografik veritabanlarında mevcut veri boşluklarının doldurulmasına yardımcı olacaktır.



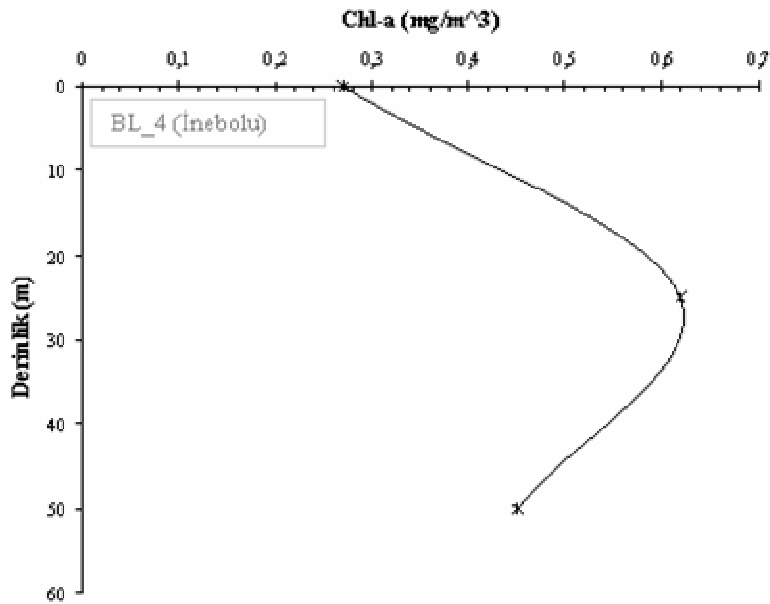
Şekil 26. BL\_1 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili



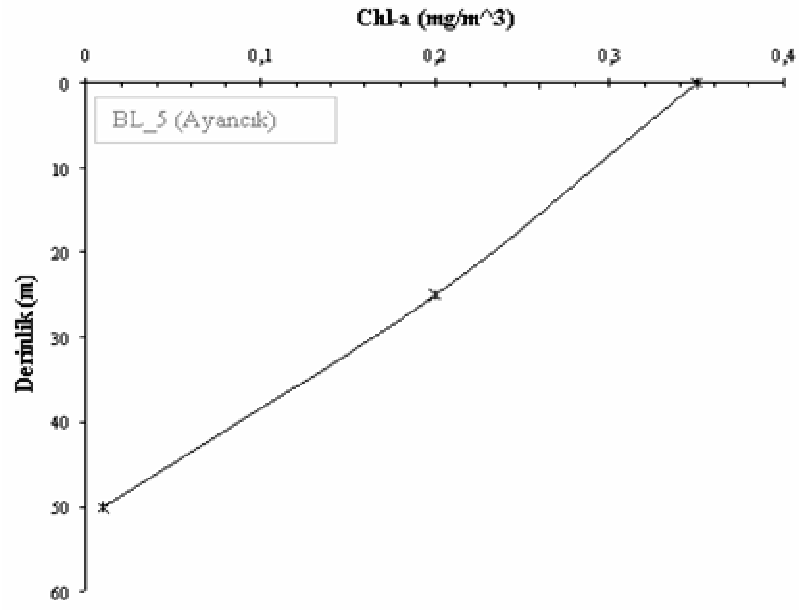
Şekil 27. BL\_2 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili



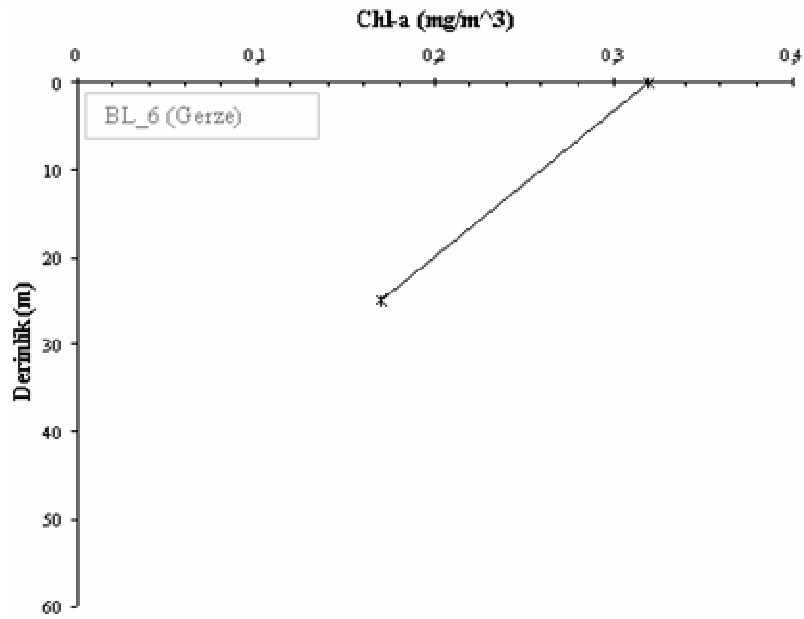
Şekil 28. BL\_3 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili



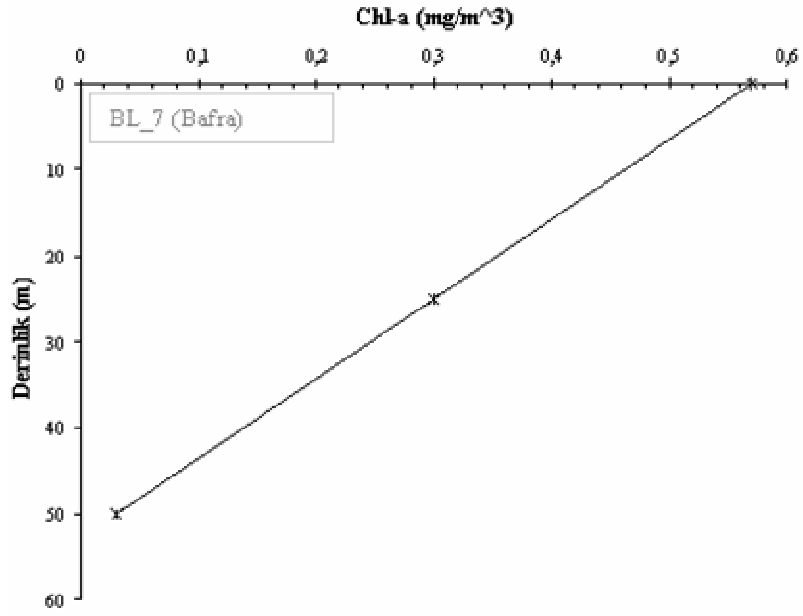
Şekil 29. BL\_4 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili



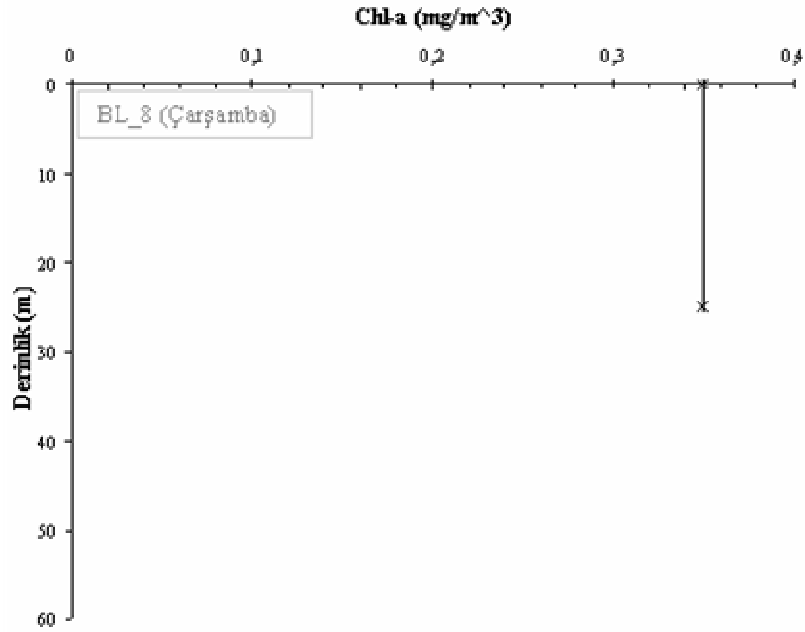
Şekil 30. BL\_5 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili



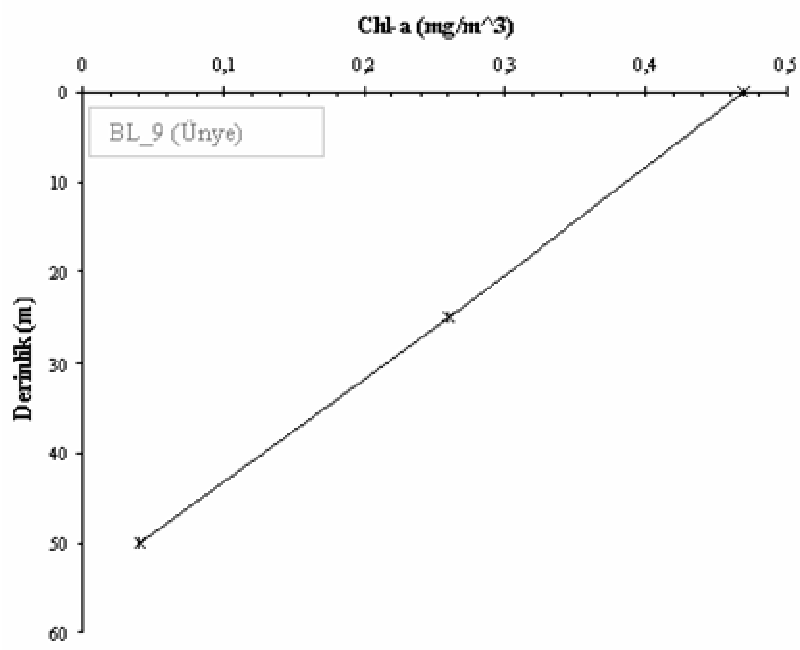
Şekil 31. BL\_6 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili



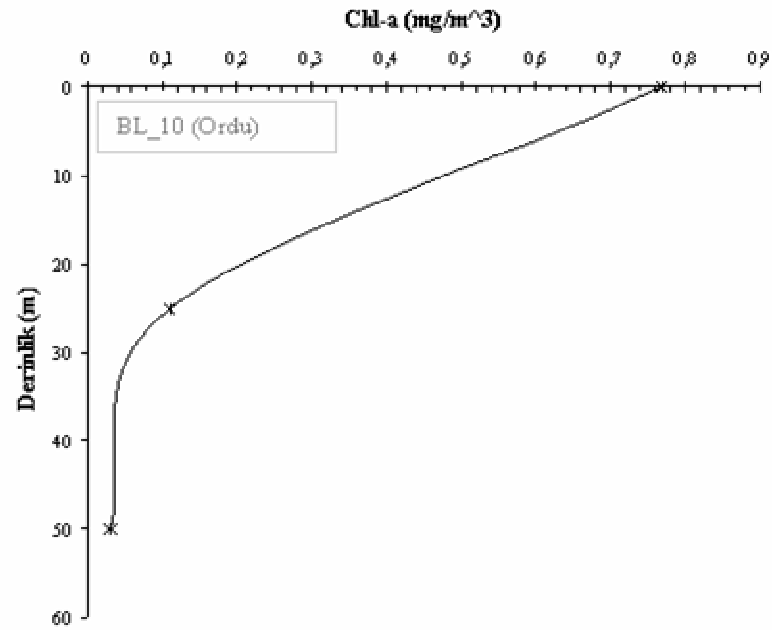
Şekil 32. BL\_7 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili



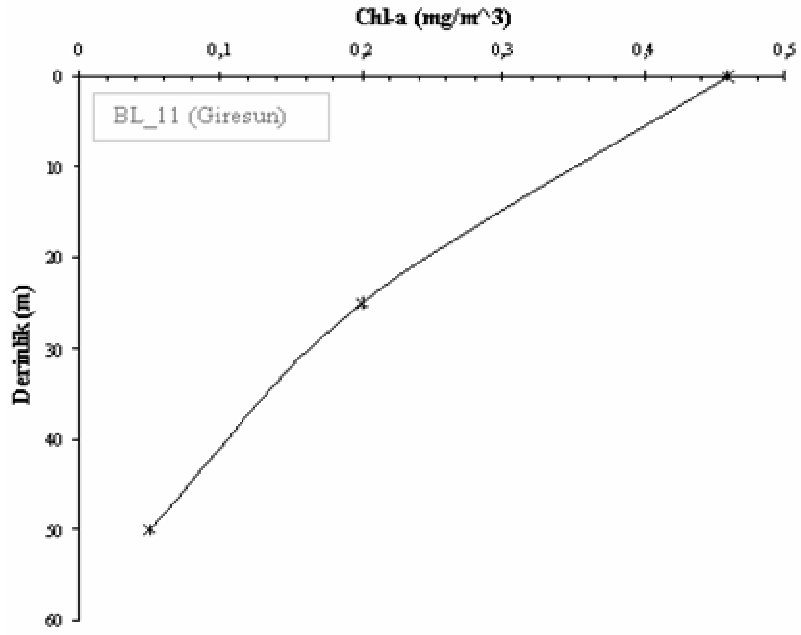
Şekil 33. BL\_8 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili



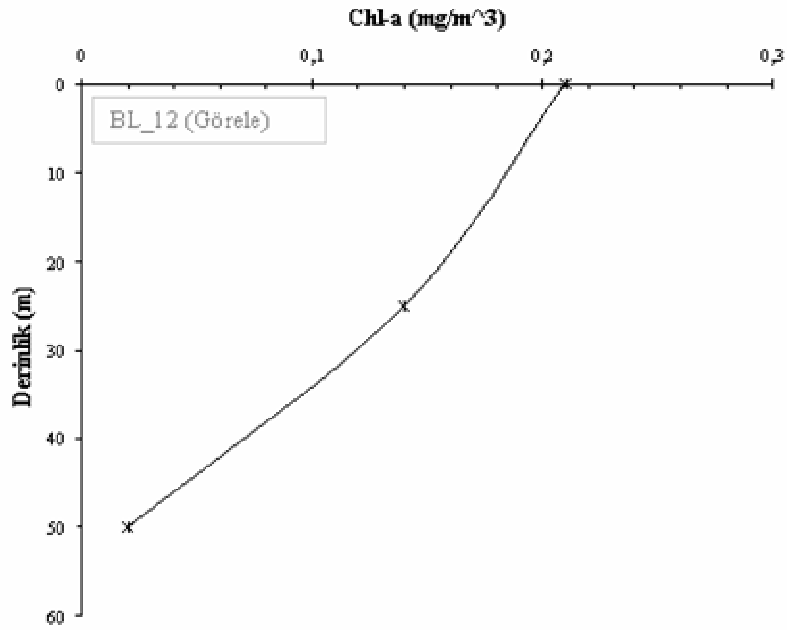
Şekil 34. BL\_9 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili



Şekil 35. BL\_10 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili

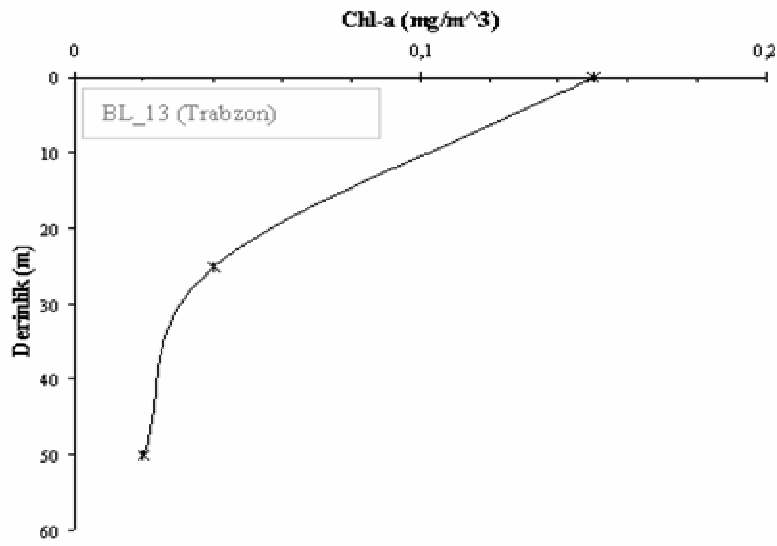


Şekil 36. BL\_11 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili

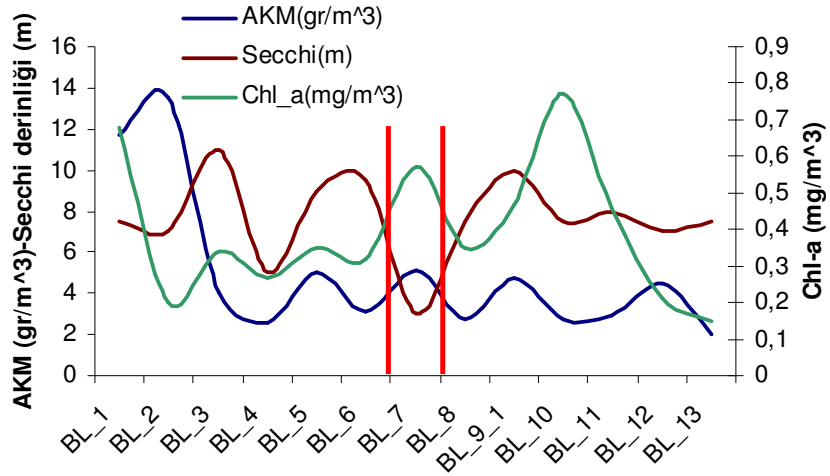


Şekil 37. BL\_12 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili





Şekil 38. BL\_13 MERCAC\_2005 Chl-a dikey profili



Şekil 39. Yüzey AKM, Chl-a ve Secchi değişimi, MERCAC-2005

### 3.4. Zamana Bağlı PP Değişimi

Potansiyel birincil üretim (PP) değerleri öncelikle yapılan çalışmalar bölümünde Tablo 5' te verilen sefer verileri kullanılarak yerel ölçüm verilerinin aylık dağılımı hem kıyı hem de açık deniz alanları için verilmiştir. Aylık dağılım değerleri Şekil 40 ve 41' de verilmiştir. Açık deniz alanları için en düşük değere Mayıs ayında  $170 \pm 71 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  rastlanırken en yüksek değer Haziran ayında  $583 \pm 161 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir. Genel dağılım Şubat, Haziran ve Ekim aylarına karşılık gelen üç pik şeklinde karakterize olmuştur. Kıyı alanları için maksimum değer  $744 \pm 489 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile Mayıs ayında gerçekleşirken, en düşük değer  $96 \pm 47 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile Aralık ayına aittir. Dağılımın genel karakterizasyonu, Ocak, Mart, Mayıs-Haziran ve Eylül-Ekim dönemleri ile 4 pik şeklindedir.

Regresyon model çıktıları dikkate alındığında, açık alanlar için yıllık ortalama  $259 \pm 6 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  iken kıyısal alanlarda bu  $309 \pm 71 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  dür. Kıyı alanları için en yüksek yıllık ortalama  $357 \pm 163 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile C1 bölgesinde gerçekleşmiştir. Aynı bölge için en düşük değer  $280 \pm 35 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile Ocak ayında gerçekleşirken maksimum değer  $603 \pm 583 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile Kasım döneminde bulunmuştur. A1 ve A2 bölgeleri arasında aylık bazda çok fazla değişim gözlenmezken bunun nedeninin regresyon modelinden elde edilen aylık PP verilerinin model performansının düşüklüğünden kaynaklanan zamansal bir homojenite göstermesidir. Kıyı alanları için en yüksek değer Aralık-Ocak döneminde ortaya çıkarken en düşük değer Ağustos döneminde gözlenmiştir. Ancak yine de açık deniz (A1+A2) ve kıyısal (B1+B2+C1+C2+C3) alanlar arasındaki farklılığı ortaya koyabilmiştir.

Finenko vd. (2002) ışık-fotosentez parametrelerinin de kullanıldığı PM model çıktılarında aylık değişim belirgin bir şekilde Şekil 44 ve 45'te görüldüğü gibi ortaya çıkmaktadır. Buna göre, açık alanlar için en yüksek değer,  $153 \pm 11 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile Haziran ayında ortaya çıkarken en düşük değer  $46 \pm 5 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile Aralık ayında rastlamıştır.

Yıllık ortalama baz alındığında A1 ve A2 alanları arasında fark olmadığı görülmüştür. Her iki alt bölge birlikte değerlendirildiğinde yıllık ortalama  $99 \pm 12 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile açık alanları karakterize eder.

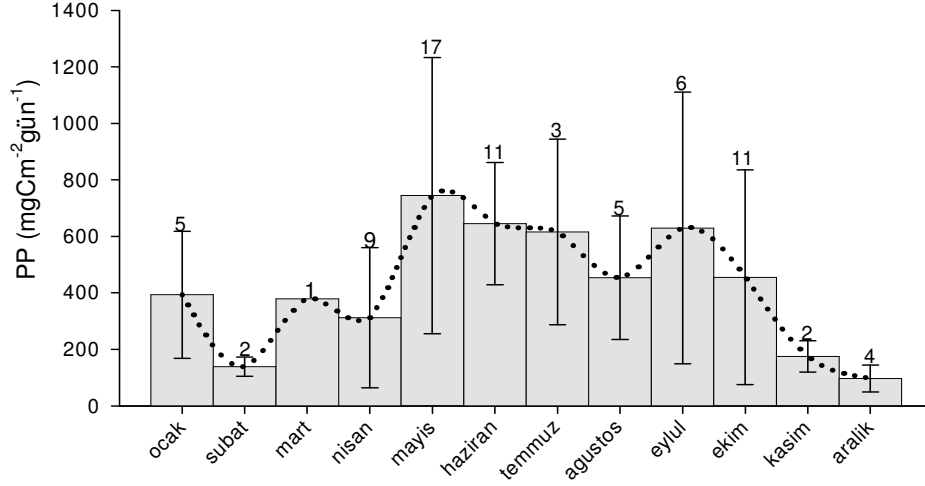
Kıyı alanları için yıllık ortalama  $161 \pm 64 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  şeklinde hesaplanmıştır. Kıyı alanları arasında en verimli bölge  $220 \pm 159 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  yıllık ortalama ile C1 bölgesidir.

Kıyı alanlarında 2003 referans yılı dikkate alındığında yıllık değişim karakteristiği PM modeline göre 3 pik şubat-mart, mayıs-haziran ve eylül-ekim ile temsil edilmiştir. Benzer şekilde, açık alanlar şubat-mart, mayıs-haziran ve ekim dönemlerinde belirgin olan 3 maksimum ile belirgindir. Bu yönü ile PM modeli yersel uzun yıl ortalmaları karakteristiği benzerlik gösterir. Bununla birlikte tüm yöntemler arasında en düşük verimlilik değerleri bu yöntemle yapılan hesaplamalarda ortaya çıkmıştır.

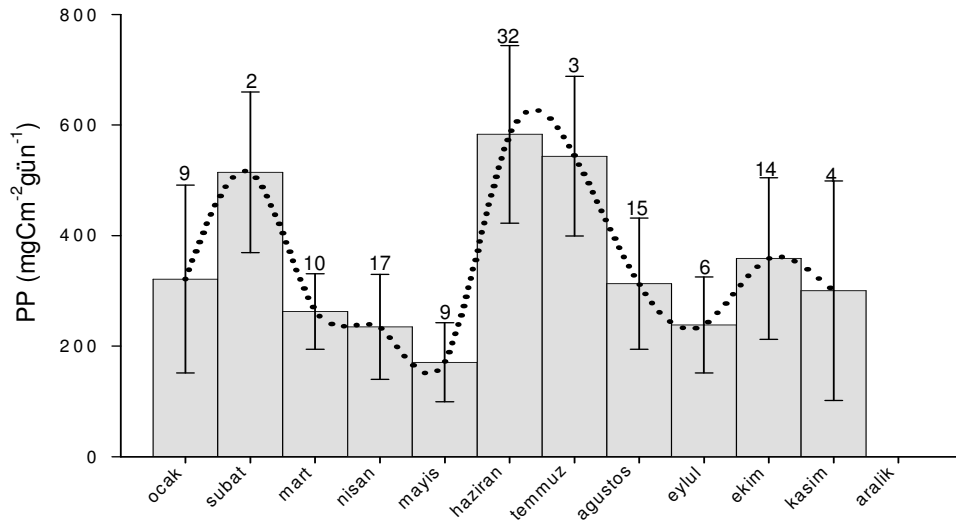
2003 yılı için BF modeli ile yapılan hesaplamalar dikkate alındığında, açık alanlar için yıllık ortalama  $198 \pm 21 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ve kıyısal alan için  $322 \pm 128 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  şeklindedir. Kıyı alanları için en yüksek değer  $1067 \pm 873 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile C1 alt bölgesinde haziran ayında hesaplanmıştır, en düşük değer  $116 \pm 4 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile B1 bölgesinde aralık ayında rastlanmıştır. Benzer şekilde açık ve derin bölgeler için maksimum birincil üretim (PP) haziran ayında  $339 \pm 31 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  şeklinde ve minimum değer  $102 \pm 8 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile aralık ayında bulunmuştur. Yıllık dağılım karakteristiğine (Şekil 46) bakıldığında, kıyı alanları ocak, mayıs-haziran ve ekim-kasım ile karakterize edilen 3 pik gösterir. Ancak görüleceği üzere mart ayında başlayan artış hazirana kadar sürmektedir. Ancak şartıcı bir şekilde nisan-mayıs düşük verimlilik düzeyleri model performansından kaynaklanan bir nedenle gözükmemektedir. Aynı durum açık bölge ve diğer yıllar için yapılan hesaplamalarda da ortaya çıkmıştır. Açık alanlar, mart dönemi için model performansı dikkate alındığında sadece mayıs-haziran ile eylül-ekim ayında olmak üzere Şekil 47' de görüldüğü gibi 2 pik ile temsil edilmiştir.

Tüm bölgeler ve modeller değerlendirildiğinde genel olarak açık deniz alanlarındaki zamansal ve konumsal PP değişimlerinin daha düşük olduğu, bunun tam tersi olarak kıyısal alanlarda görülen PP farklılığının zamansal ve konumsal olarak açık alanlardan çok daha hareketli olduğu görülmüştür. Yapılan tüm PP hesaplamaları arasında ortalama değerler açısından yersel ölçümlere en yakın sonuç veren BF modeli olmakla beraber mevsimsel değişimi ve maksimumları yakalama performansı açısından PM en iyi performansı göstermiştir.

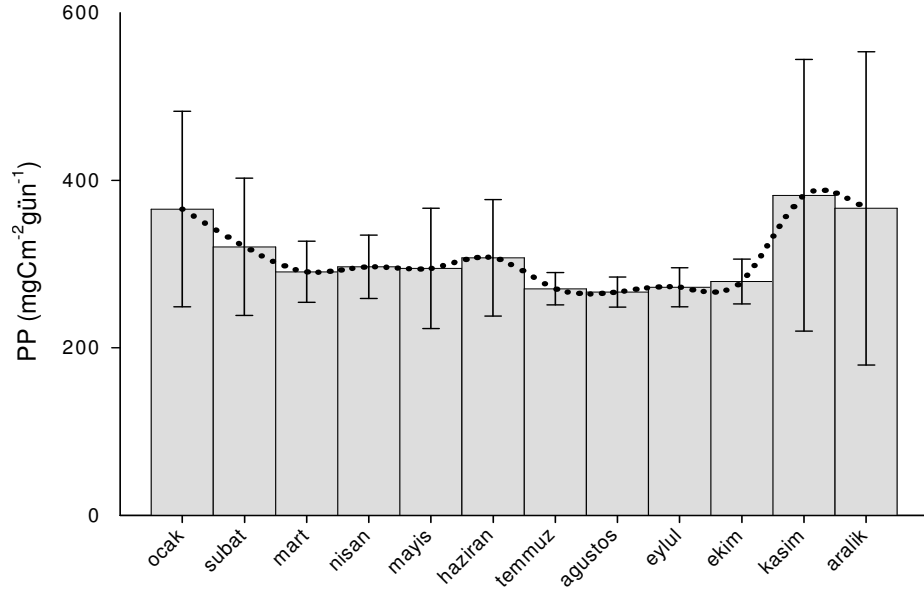
Şekil 48' de her üç modele görsel referans olması açısından 2003-Nisan dönemine ait model çıktıları verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere RM modelinde homojenite, PM modelinde özellikle açık alanlarda düşük verimliliklik değerleri hemen göze çarpan ilk özelliklerdir. BF modeli ile yapılan hesaplamalar sonucunda, 2002-2005 arası yıllık dağılım Şekil 49' da verilmiştir.



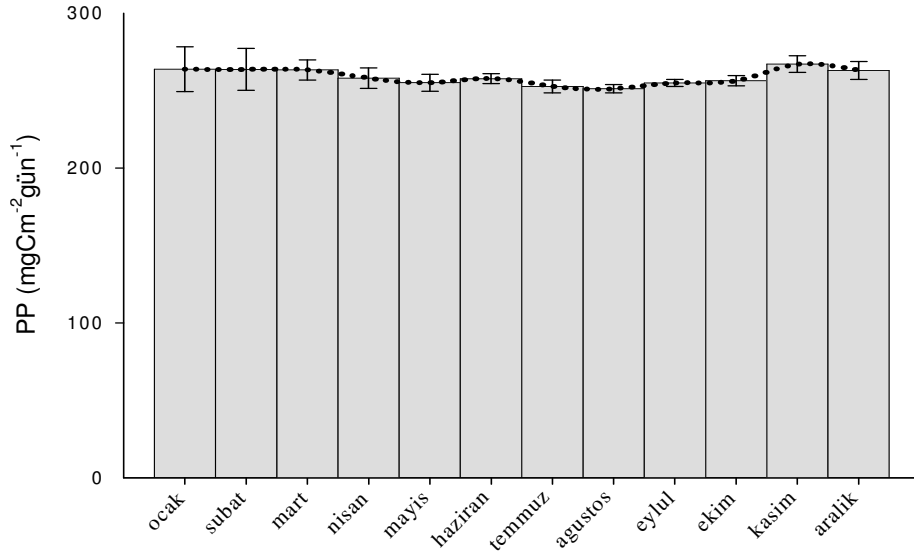
Şekil 40. Yerde ölçüm birincil üretim (PP) verileri (kıyısal alan)



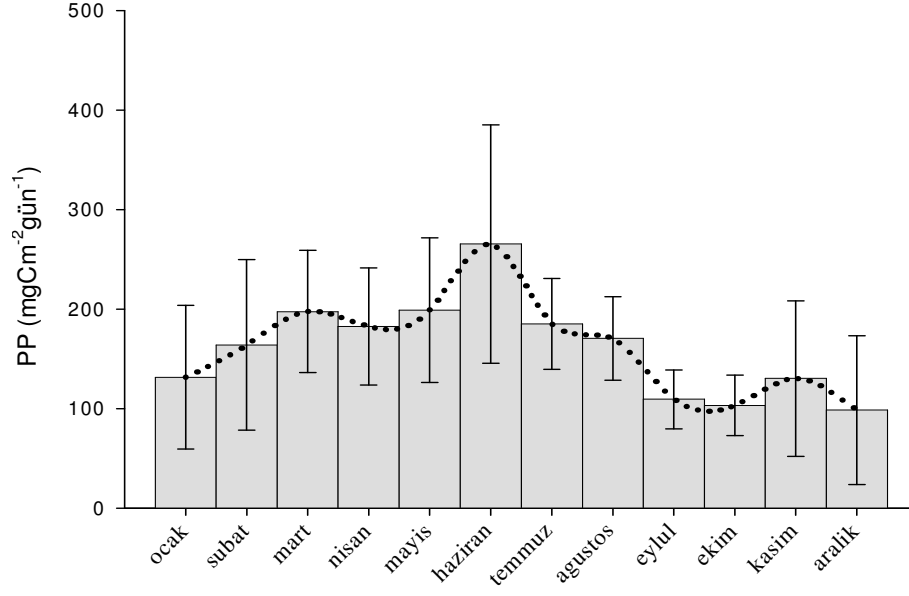
Şekil 41. Yerde ölçüm birincil üretim (PP) verileri (açık deniz)



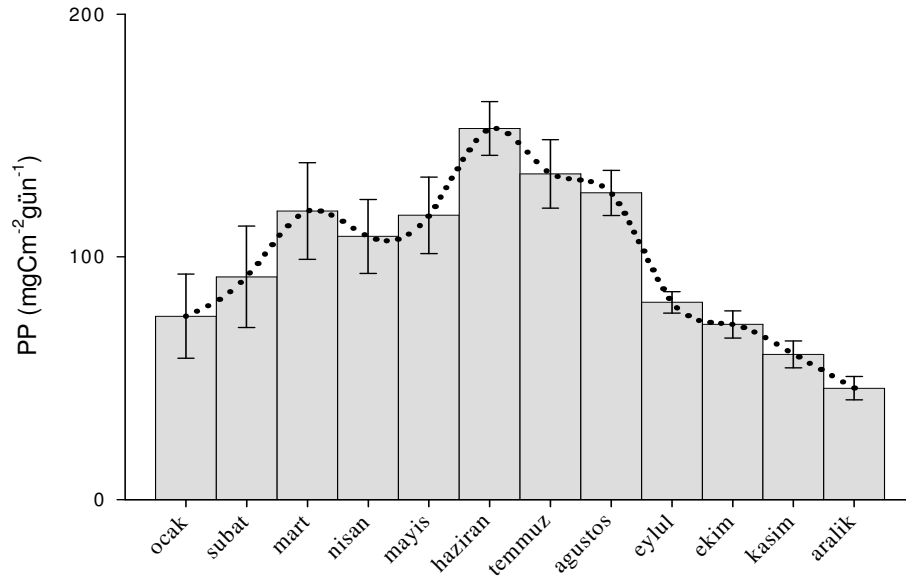
Şekil 42. RM modeli kıyı 2003 yılı aylık (PP) dağılım



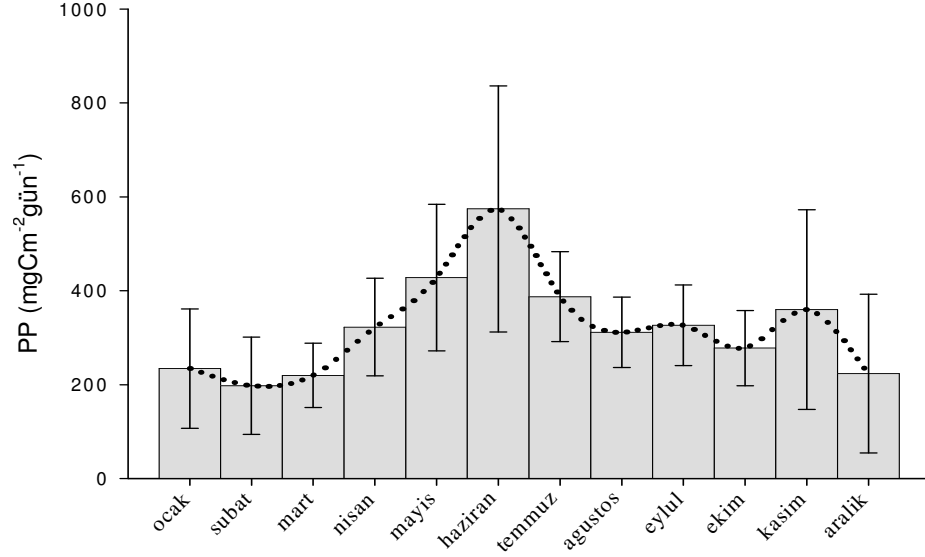
Şekil 43. RM modeli derin bölge 2003 yılı aylık (PP) dağılım



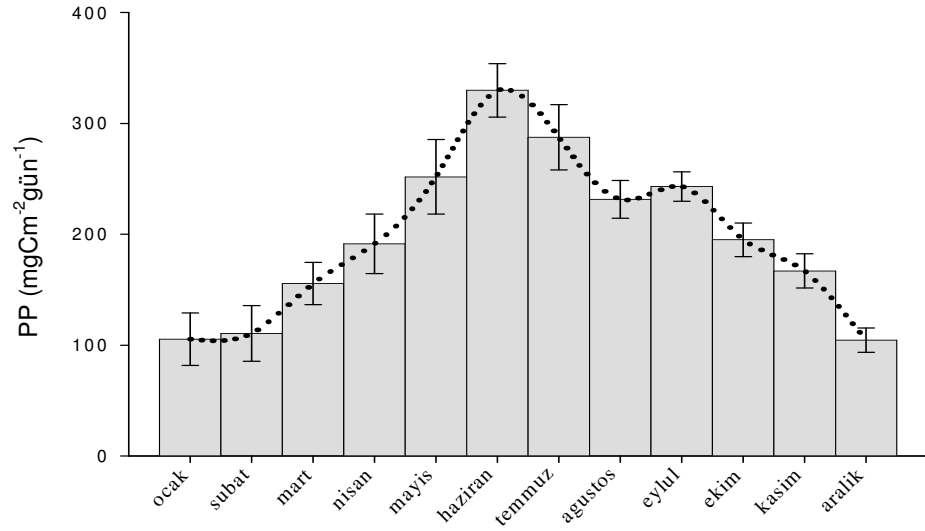
Şekil 44. PM modeli kıyı 2003 yılı aylık (PP) dağılım



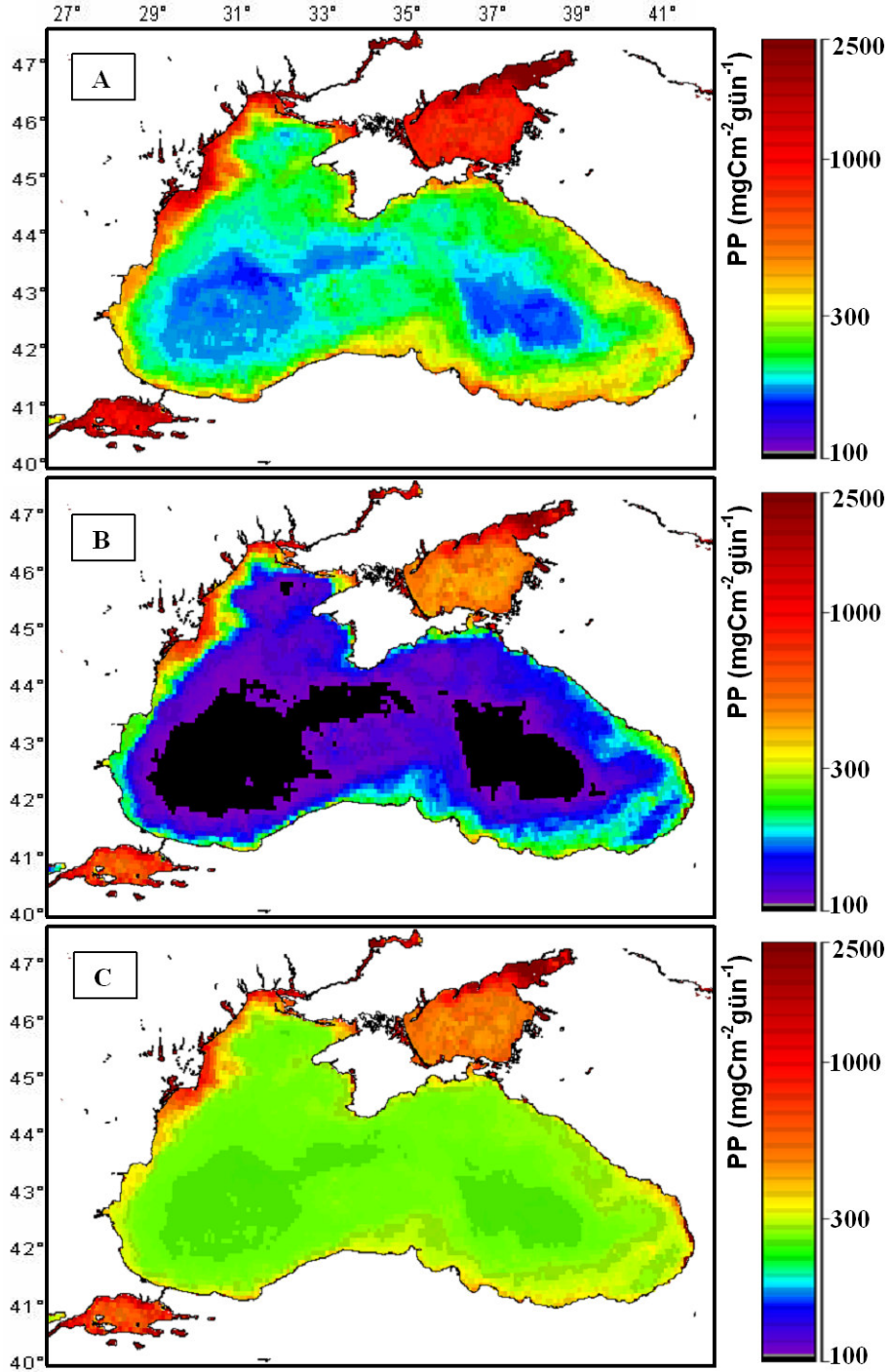
Şekil 45. PM modeli derin bölge 2003 yılı aylık (PP) dağılım



Şekil 46. BF modeli kıyı 2003 yılı aylık (PP) dağılımı

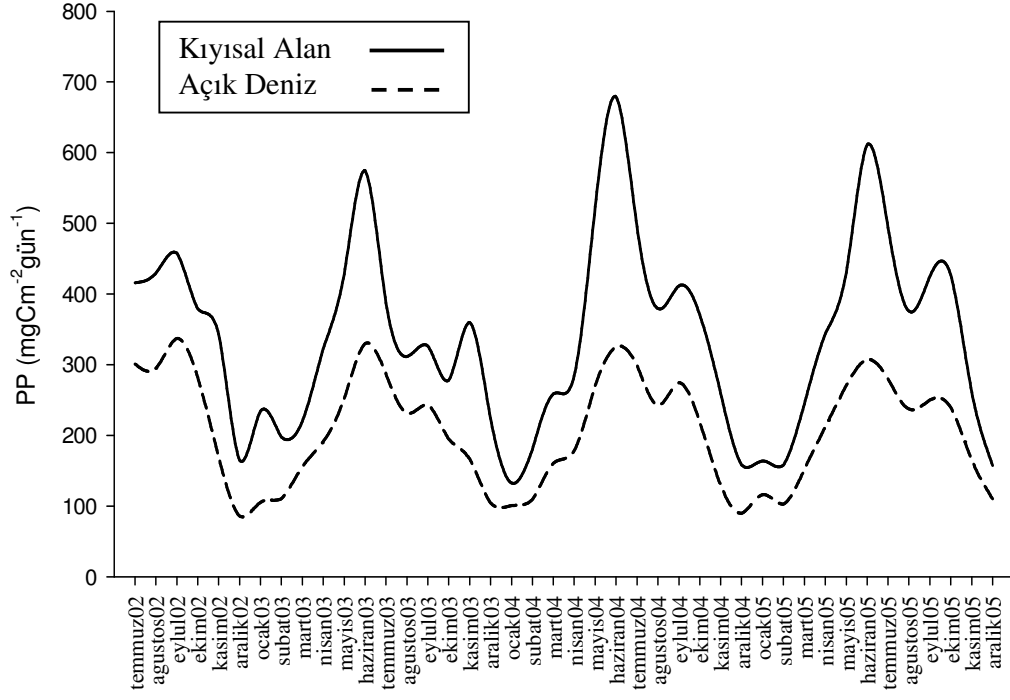


Şekil 47. BF modeli derin bölge 2003 yılı aylık (PP) dağılımı



Şekil 48. Nisan-2003 dönemine ait PP dağılımı, BF modeli (A), PM modeli (B), RM modeli (C)





Şekil 49. 2002-2005 yılı birincil üretim (PP) karakteristiği (BF Modeli)

#### 4. TARTIŞMA

Karadeniz kendine özgü karakteristikleri ile uydu oşinografisi açısından zorlukları olan bir denizdir. Öyle ki, yoğun karasal etki, atmosferik toz zerreciklerinin varlığı, aşırı bulutluluk gibi faktörler deniz yüzeyine gelip geri dönen radyansı olumsuz etkiler. Platformdan bağımsız hemen hemen tüm algılayıcılardan elde edilen görüntüler bu tip kalıtsal problemlere maruz kalır. Dolayısıyla bu etkilerin varlığını kabul etme varsayımıyla süreçlerin değerlendirilmesi gerekir. Farklı algılayıcıların 1978 yılında CZCS ile başlayan ve günümüzde MODIS, SeaWiFS, MERIS gibi programlar ile devam eden misyonları oşinografi, çevresel modelleme ve izleme açısından son derece önemlidir. Bunlar çoğu zaman farklı geçiş zamanları ve orbit geometrilerinden dolayı birbirini tamamlayan veri parselleri oluştururlar. Bu nedenle meydana gelen bu veri parsellerinin uygun yöntemler ile bir araya getirilmesi ve veri boşluklarının doldurulması önemlidir. Bu nedenle yapılan çalışmada başlangıç referans noktası olarak üç farklı algılayıcıdan elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

MERIS algılayıcısına ait Algal1 ve Algal2, SeaWiFS algılayıcısına ait OC4V4 ve MODIS-Aqua' ya ait OC3M algoritmalarının Karadeniz için genel performansı Chl-*a* ve hidrolojik süreçleri çözebilme açısından iyi bulunmuştur. 083\_2004 kodlu görüntüde Algal2 hariç diğer üç algoritma bahar yüksek fitoplankton karakterisini yansıtmaktadır. Her ne kadar Algal2 bu görüntüde başarısız olsada özellikle yaz aylarına doğru yaklaştıkça mayıs ve haziran görüntülerinde performansının arttığı görülmektedir. 083\_2004 görüntüsünde açık alanlardaki Chl-*a* değerleri  $\sim 1 \text{ mgm}^{-3}$  ve altında değerler gözlenirken, kıyılarda bu değerler  $\sim 2 \text{ mgm}^{-3}$ , ten daha büyük değerler ile temsil edilmiştir. Çalışma esnasında, 2004 yılında ilgili zamanlar için yersel veri olmadığından aynı zaman dilimi, mart-haziran dönemi baz alınarak daha önceki verilerden yapılan aylık ortalama değer analizlerinden her iki referans alanı için de uydudan elde edilen değerlerin yersel değerlerden 2-3 kat daha yüksek olmuştur. Bahar dönemi yüksek değerlerinden sonra özellikle 109\_2004 kodlu görüntüden görülebileceği gibi nisan-mayıs minimum karakteristiğine doğru bir gidiş görülmektedir ve bu esnada özellikle açık alanlarda Chl-*a* değerleri  $< 0,5 \text{ mgm}^{-3}$  civarında değerler ile temsil edilmiştir. Bu durum OC4V4, OC3M ve Algal1' de belirgin olarak görülmekle beraber Algal2 tamamıyla bu yetenekte başarısız olmuştur.

Yapılan regrasyon analizleri sonucu elde edilen  $R^2$  değerleri, MODIS-Aqua/SeaWiFS,  $R^2=0,79-0,88$  civarında olmuş ve en iyi korelasyon bu iki algılayıcı arasında bulunmuştur. Benzer şekilde Folkestad vd. (2007) Skagerrak denizinde yapmış oldukları çalışmada MODIS-Aqua/SeaWiFS için  $R^2=0,97-0,99$  arasında değerler bulmuşlardır. Bu alışma Skagerrak denizinin hem Tip1 hem de Tip2 su özeliği taşıması açısından Karadeniz ile karşılaştırabilecek niteliktedir. Bu çalışmada bulunan değerlerden daha yüksek  $R^2$  değerleri elde etmeleri coğrafi farklılık, uydu geçiş zamanı ve ortalamaya dayanan karşılaştırma tekniği kullanılmasından kaynaklanmış olabilir. Benzer şekilde Meris-Algal1/SeaWiFS ve Meris-Algal1/MODIS-Aqua arasında sırasıyla  $R^2=0,76-0,79$  ve  $R^2=0,74-0,76$  değerleri ile Folkestad vd. (2007) bulguları ile benzeşmektedir. İki çalışmada da özelikle kıyısız alanlarda sensörlerin karşılaştırılması sırasında problemler göze çarpmıştır. 083\_2004 kıyı alanı MODIS-Aqua/SeaWiFS arasında  $R^2= 0,12$  bulunmuştur. Bu durum kıyısız alanlarda karşılaşılabilir sorunların ne denli büyük olabileceğinin göstergesidir. Kıyısız alanların sürekli değişen optik karakteristiği düşünüldüğünde düşük değerlerin çok hızlı değişen kıyısız bölgelerde ortaya çıkması doğal sonuç olarak görülebilir. Bunun muhtemel nedenleri arasında anlık değişimler, bulutluluk, OC3M ve OC4V4 arasındaki band farkı gibi nedenler olabilir. Bu tip Chl-*a* konsantrasyon farklılıkları Karadeniz için doğal olarak karşılanması gereken bir durumdur. Öyle ki, bazen saatlerle ifade edilebilecek ani fitoplankton canlı kütle artışları mümkündür. MODIS-Aqua ile SeaWiFS arasında görülen yüksek korelasyon iki algoritmanın oluşturulmasında kullanılan yersel verinin aynı olması ve algılayıcıdan elde edilen (LO) görüntüsünün benzer yollarla işlenmesinden ve iki sensörün geçiş zamanı yakınlığından kaynaklanmış olabilir. zerinde durulması gereken en önemli konu Karadeniz'e özel algoritmaların üzerinde çalışılması gereğidir. Karadeniz de Chl-*a* yoğunluğunun zamana bağlı değişimi artış ve azalışların birbirini takip eden salınımlar şeklinde ortaya çıkar.

Yapılan alışmalar, 1978-1986 aralığında Karadeniz'in ekolojik olarak dengede ve durağan su kütlesi olduğunu vurgulamaktadır. Basenin derin kısımları için 1964-1986 peryodu mayıs-eylül aralığında yüzey ortalama Chl-*a* değerleri  $0,15\pm 0,04$   $\text{mgm}^{-3}$  civarındadır. Sonrasında, 1988-1991 yılları için ortalama yılda  $0,06$   $\text{mgm}^{-3}$  bir oranla artmaya devam etmiş ve 1992 yılında  $0,99\pm 0,7$   $\text{mgm}^{-3}$  maksimum düzeye ulaşmıştır. 1993 yılında ortalama değer  $0,26\pm 0,08$   $\text{mgm}^{-3}$  seviyesine inmiş ve daha sonrasında 1993-1996 aralığında, yılda ortalama  $0,02$   $\text{mgm}^{-3}$  gerilemiştir (Kopelevich vd., 2002). Basenin açık kesimleri için 1998-2001 peryodu için ortalama Chl-*a* değerleri  $0,46-0,50$   $\text{mgm}^{-3}$  arasında

rapor edilmiştir (Kopelevich vd., 2004). Aynı periyot için yersel veri açık deniz kesimi için 0,02-2,5 mgm<sup>-3</sup> ve kıyısız sular için 0,02-34 mgm<sup>-3</sup> civarında ölçülmüştür (Sancak vd., 2005).

1996-2002 periyodu için Karadeniz'in 200m lik kıyısız alanlarının dışında kalan derin bölgelerde kasım ayında maksimum değerlerden temmuz aylarının en düşük değerlerine azalarak ulaşmaktadır. Ağustos ayında tekrar yükselmeye başlayarak kasım ayına kadar aynı döngüyü sürdürür. Fitoplankton üretimi söz konusu zaman dilimi için her yıl eylül ayında başlar, ekim ayında tüm basene yayılır ve kasım ayında en yüksek değerlere ulaşır. 1996, 1998, 2000 ve 2001 yılları için yaklaşık maksimum değer 0,9 mgm<sup>-3</sup> civarında olmuştur. Karakteristik güz patlaması ocak ayında sona erer, yavaş yavaş Chl-*a* düzeylerinin düşmesiyle minimum değerler kış aylarında ortaya çıkar (Oguz vd., 2003).

Benzer şekilde CZCS ile yapılmış olan çalışmada özellikle güz-kış ve ilkbahar patlamalarına vurgu yaparak basenin ılıman iklim kuşağı karakteristiğini değil de, daha çok sub-tropikal karakteristiği gösterdiği rapor edilmiştir (Nezlin vd., 1999). 2001-2002 yaz döneminde gerçekleştirilen kıyısız bir çalışmada yüzey Chl-*a* değerlerinin sırasıyla 2001 yılı ağustos dönemi için ortalama 0,83 mgm<sup>-3</sup> ve 2002 yılı temmuz-ağustos dönemi için 0,9 mgm<sup>-3</sup> olarak ölçülmüştür (Berseneva vd., 2006). Aynı dönem için, Sürmene kıyılarında gerçekleştirilen çalışmalarda yüzey değerleri yaklaşık 0,69 mgm<sup>-3</sup> civarında değerler ile temsil edilmiştir.

Uydu verilerinin kendi aralarındaki uyum ve göreceli olarak yüksek korelasyon göz önüne alındığında, yersel ölçümler için benzer sonuçları görmek mümkün olmamıştır. 2004 Yaz-Güz, 2005-Kış ve 2006-Bahar dönemlerine ait yersel verilerin MODIS-Aqua OC3M ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen RMS değerleri %32,6 ile %77,9 ve ortalama hata değerleri %25,5 ile %72,1 arasında değişim göstermiştir. Benzer şekilde, Gregg ve Casey (2004) SeaWiFS zaman serisi verileri ile yapmış oldukları global ölçekteki bir çalışmada Karadeniz ve Akdeniz için RMS ( % 55,7) ve Ortalama hata'yı da (% 44,7) olarak rapor etmişlerdir, bu haliyle çalışmadaki bulgular ile uyum göstermektedir.

Bahar periyoduna ait R<sup>2</sup> değerinin düşük çıkması özellikle bu mevsimde yoğun tatlı su girdisi ile artan ÇOM ve AKM oranlarının artması olabilir. Bu durumda OC3M in optik yeteneği yetersiz kalmış ve su yüzeyi için diğer periyotlara göre daha az gerçekçi değerler okumuş olabilir. Diğer bir takım nedenler arasında havada sürekli bulunan toz zerreciklerinin yoğunluğu, bulutluluk ve atmosferik düzeltme hataları sayılabilir. Yapılan ölçümler genel olarak yüzey maksimum Chl-*a* karakteristiğindedir. Ölçülen tüm yüzey

Chl-*a* değerleri tüm mevsimler için 0,11-1,35 mgm<sup>-3</sup> aralığında değişmiştir. Her bir veri seti için ortalama yüzey suyu değerleri 0,43±0,18 kış 2005, 0,67±0,40 yaz-güz\_2004 ve 0,31±0,35 bahar \_2006 için bulunmuştur. Tüm veriler dikkate alındığında uydu/in-situ oranı 2,6 olarak bulunmuştur. Bu tam manası ile OC3M' in Karadeniz için yüzey Chl-*a* değerlerini ortalama 2,6 kat fazla ölçtüğünü ortaya koymaktadır. Gregg ve Casey (2004) SeaWiFS ile yapmış oldukları global analizler sonucunda yersel Chl-*a* ile uydu değerleri arasında R<sup>2</sup>=0,35 ile algılayıcının yersel veriye göre daha yüksek değerler verdiğini Akdeniz-Karadeniz bölgesi için belirtmişlerdir (Gregg ve Casey, 2004). Benzer şekilde, farklı biyocoğrafik alanlarda farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda yersel ile uydu verileri arasında uydu görüntülerinin daha yüksek değerler hesapladığına yönelik farklılıkların olduğu vurgulanmıştır (Bricaud vd., 2002; Blondeau vd., 2004; Darecki ve Stramski, 2004; Pinkerton vd., 2005; Folkestad vd., 2007). Diğer dikkate değer bir durum da Sürmene kıyılarında 1993-1994 yıllarında yapılan ölçümlerde Chl-*a* 1,16 mgm<sup>-3</sup> iken 2001-2002 yıllarında aynı bölge ve zamanda bu değer ortalama 0,69 mgm<sup>-3</sup>'e gerilemiştir. Bu negatif eğilim, ötrofik durumun Karadeniz için yavaş yavaş düzeldiğinin göstergesi olabilir. Benzer düşük değerler 2004, 2005 ve 2006 yıllarında yapılan yüzey Chl-*a* ölçümlerinde de göze çarpmaktadır. Karadeniz'in ötrofik durumdan çıkma eğilimi Kideyş (2002), Yunev vd. (2002) ve Yılmaz vd. (2006) tarafından da vurgulanmıştır .

MODIS-Aqua SST (11 µm) yerinde ölçüm verileri ile yüksek korelasyon göstermiştir R<sup>2</sup>=0,95 ve (p<0,05) bu şekliyle diğer tüm Chl-*a* algoritmalarından daha iyi sonuçlar vermiştir. Bunda etkili olan faktör özellikle yakın kızıl ötesi ve kızıl ötesi aralığın atmosferik etkilerden daha az etkilenmesi olabilir. Burada uydu ile yersel değerler arasında görülen küçük farklılıkların nedeni uydu geçiş zamanı veya diğer lokal etkiler olabilir. Örneğin, derin bölgelerde şubat ayı ortalama SST 6-7 °C civarında iken kıyı suları için 8-9 °C dir. Mart ayında 8-9 °C den 10-11 °C ye ve nisanın ayı başlarında 16-17 °C ve mayıs ayının sonlarına doğru 18-19 °C çıkmaktadır. Bu da mevsim normalleri ile hemen hemen aynı değerlerdir. Mayıs ayı görüntüsüne bakıldığında daha soğuk suların oluşturduğu anti siklonik kıvrımlar Gelendzik-Tuapse arası ile Türkiye kıyılarında gözlenebilmektedir. Yine aynı görüntüye bakıldığında Batum antisiklon bölgesinin ortalama SST değerlerinden 1-2 °C daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Bu daha önceki Chl-*a* görüntüleri ile uyuşum içindedir aynı zaman diliminde böylelikle batum antisiklonunun oluşmaya başladığı SST verisiyle de desteklenmiş olmaktadır. Yine, Şekil 22'de ardıl SST görüntüleri doğu baseninin batı baseninden daha erken ısındığını ortaya

koymaktadır. Özellikle mayıs görüntüsüne bakıldığında Anadolu kıyılarında yaz upwelling oluşumunun başlangıcı sayılabilecek oluşumları yakalamak mümkündür. Bunun yanında görüntülerden görülebileceği gibi hidrografik bazı süreçlerin kalitatif incelenmesinde de uydu oşinografisi iyi sonuçlar vermektedir. Bu tip çalışmalar Ginzburg vd. (2002), Ginzburg vd. (2004) ve Karabashev vd. (2006) tarafından Karadeniz için başarı ile uygulanmıştır.

Yerinde ölçüm verileri kıyısız AKM taşınımı, kıyısız hidrografi, PAR ve Chl-*a* değişimini ortaya koymak açısından son derece faydalı olmuştur. Çalışmada elde edilen  $K_d$  değerleri daha önce yapılan Yılmaz vd. (1998a), Ediger ve Yılmaz, (2003) ve Yayla vd. (2001) çalışmalarında elde edilen değerler ile uyum göstermiştir. Fotik derinlik (%1 ışık derinliği) istasyonlara göre farklılıklar göstermekle beraber kıyısız etkinin yoğun hissedildiği alanlardan gelen ölçümlerden kaynaklanan farklılıkları görmek mümkündür.  $0,21 \text{ m}^{-1}$  ile  $0,66 \text{ m}^{-1}$  arasında değişen ışık sönümlenme katsayıları, 7-21 m arasında değişen fotik zon ile aynı karakteristiği gösterir. Benzer şekilde Seki disk verileri de zaman zaman ~3-5 m gibi çok küçük değerlere inmiştir. Kıyısız alanlar için benzer değerler Mankovsky vd. (1998) tarafından rapor edilmiştir.  $K_d(490)$  sönümlenme değerlerinin yapılan ölçümlerle uyumu bu parametrenin özellikle su kalitesi çalışmalarında Karadeniz için kullanılabilmesi gerçeğine vurgu yapar. Tüm istasyon ve derinlikler dikkate alındığında AKM için en yüksek ortalama değer yüzey sularında  $1,39 \pm 1,31 \text{ gm}^{-3}$  ile temsil edilmiştir. Ferrari vd. (2003) Avrupa'nın farklı kıyısız sularında yapmış oldukları çalışmalarda benzer değerler bulmuşlardır. Yapılan çalışmalarda özellikle büyük nehir ağız açıklıklarında yoğun AKM konsantrasyonları Anadolu kıyısı boyunca varolan nehrilerin Karadeniz ekosistemine olan etkisini ortaya koyulması açısından önemlidir. Panin ve Jipa, (2002)'de sunulan sayısal değerlerden Anadolu nehirlerinin yaklaşık Tuna nehri kadar sediment taşıdığı anlaşılmaktadır. Kıyısız suların aşırı sediment yükü özellikle Anadolu kıyıları için canlı hayatı açısından önem arz eder. Bu tip sularda her ne kadar nutrient açısından bir sınırlama olmasada yoğun sediment varlığı ışık penetrasyonunu etkileyeceğinden birincil üretim olumsuz etkilenebilir.

Karadeniz'in birincil üretimi yoğun olarak 1960'lı yıllarda rus bilim adamları tarafından detaylı olarak araştırılmıştır. Ağustos-eylül 1960 tarihinde gerçekleştirdikleri çalışmalarda  $^{14}\text{C}$  tekniğini kullanmışlardır (Stelmakh vd., 1998). O tarihte farklı istasyonlarda birincil üretim  $50-3000 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  arasında değişim göstermiştir. Kuzeybatı bölgesi için  $600-3000 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ , İstanbul Boğazı konverjans alanı ve Kerch

Boğazı etrafında  $300-600 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ve orta sağ ve sol döngünün yer aldığı derin bölgede  $50-200 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  civarında rapor edilmiştir. Yapılan çalışmada, İstanbul Boğazı konverjans alanı (B2 alt bölgesi)'i için 2003 yılı verilerine göre PM modeli ile ağustos-eylül dönemi için  $92-131 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  civarında hesaplanmıştır. Yılın aynı periyodu için 1964 yılına ait veriler ile de benzerlik göstermiştir (Stelmakh vd., 1998). B2 bölgesi için Yayla vd. (2001) temmuz-1997 ile eylül-1998' de yapmış oldukları çalışmalarda  $62-601 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  arasında değişen değerler bulmuşlardır. Özellikle 1980'li yıllardan sonra Karadeniz'in verimliliği ile ilgili çalışmaların sayısı artmıştır (Stelmakh vd., 1998). Birincil üretim tarihsel süreçte dikkate alındığında kıyısularda bahar mevsiminde diatom ağırlıklı ve güz mevsiminde coccolithophor yoğunluklu olmak üzere iki maksimum ile son dönemlerde dinoflagellate ve *Emilia huxleyi* (Coccolith) yoğunluklu yaz maksimumu rapor edilmiştir. Bunun yanında Batı Anadolu kıyılarında yoğun kış patlamaları da belirtilmiştir (Bologa vd., 1999). Yapılan çalışmada ise, üç model içinde kış mevsimi için belirgin bir sinyal yakalanamamıştır ancak RM ve BF'nin kıyısularda değişim grafiklerinde çok fazla etkin olmasada hafif bir kış patlaması göze çarpmaktadır. RM modeli hariç diğer hesaplamalarda en düşük verimlilik kış mevsimi için hesaplanmıştır. Benzer şekilde, Finenko vd. (1978) tarafından Sivastopol limanı ile kıyıdan 10 mil açıkta seçilen 2 istasyonda gerçekleştirdikleri zaman serisi birincil üretim ölçümlerinde en düşük birincil üretim kış mevsiminde görülmüş ve baharın başlaması ile mart ayı ortalarında liman içindeki istasyonda hızla birincil üretim artışı olurken nisan ayı başlarında en yüksek fotosentez hızının görüldüğünü belirtmişlerdir, hemen hemen bundan bir ay sonra mayıs ayı başlarında da açıkta en yüksek değerler rapor edilmiştir. Benzer şekilde ağustos-eylül döneminde liman içinde yüksek miktarda canlı madde üretimi olurken takip eden iki ay içinde de açıktaki istasyonda en yüksek değerler gözlemlenmiştir. Liman içinde ortalama yıllık birincil üretim miktarı  $220-280 \text{ gCm}^{-2}$  olurken açıktaki istasyonda yıllık ortalama  $\sim 100 \text{ gCm}^{-2}$  civarındadır. Ağustos-ekim dönemi boyunca tüm havza da gerçekleştirilen çalışma sonucunda fotosentez hızına bağlı olarak kuzeybatı Tuna nehri açıklarında göreceli olarak yüksek ( $>500 \text{ mgCm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) değerlere rastlanmıştır. Ana siklonik döngünün iki parçaya ayrıldığı bölgede  $200-500 \text{ mgCm}^{-2} \text{ gün}^{-1}$  gibi üretim miktarları gözlemlenmiştir. Karışımın ve akıntı hızının düşük olduğu, güneybatı kesiminde  $50-200 \text{ mgCm}^{-2}\text{d}^{-1}$  civarında üretim miktarlarına rastlanmıştır (Finenko, 1978). Sevastopol kıyılarında yapılan düzenli ölçümlerde kış mevsiminin ilk yarısının en düşük verimlilik düzeylerini gösterdiği gözlemlenmiştir. Verimlilik ocak ayının sonlarından başlayarak mart' a kadar diatom ağırlıklı

olarak devam ettiği bu tarihlerde ortaya konmuştur. Görülen bu artışın nedeninin meteorolojik koşullar olduğu belirtilmiş ve özellikle havanın erken ısındığı ve kıyısız sediment karışımının yoğun olduğu zamanlarda en yüksek değerlerin mart ayında, kış ve bahar mevsiminin soğuk geçtiği dönemlerde de bunun mayıs sonlarına sarktığı belirtilmiştir. Bunun devamı olarak ikinci pik değeri temmuz-ağustos döneminde gözlenmiş ve nedeninin körfezde nutrient yenilenmesi olabileceği belirtilmiştir. Bundan sonra üçüncü pik ekim-kasım döneminde rapor edilmiştir. Genel olarak kıyısız sularda verimlilik farklı coğrafi alanlarda farklı aylarda ortaya çıkmasına rağmen yılda 3-4 pik ile karakterize edilebilen bir yapı gösterir. Maksimum üretim bahar-güz dönemi için kuzeybatı kıyılarında ve kuzey bölgesinde kayıt edilmiştir. Bundan sonraki en yüksek değerler Romanya'nın batı kesimi ile Batı Anadolu sahillerinde gözlenmiştir. 1982 yılı için diğer tüm kıyısız alanlar ile karşılaştırıldığında en yüksek değer  $1600 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  olarak mayıs ayında Tuna nehri açıklarında rapor edilmiştir. Bu durum, RM, PM ve BF modellerinin C1 bölgesi için yaptıkları hesaplamalarda da görmek mümkündür. Her üç model için yıllık ortalama verim C1 bölgesi için sırası ile  $357 \pm 163$ ,  $220 \pm 159$ ,  $455 \pm 331 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  olarak 2003 yılı için hesaplanmıştır. Genel olarak C3 kıyı bölgesi yıl boyunca C2 kıyı bölgesinden daha yüksek verimlilik değerleri göstermiştir. Güney sahilleri için bahar maksimum değerleri ile büyük nehir debilerinin pik yaptığı dönemler uyum gösterir. Işık penetrasyon derinliği 15-40 m dolaylarında ve sönmelenme değerleri  $0,1-0,3 \text{ m}^{-1}$  aralığında değişim gösterir. Fotosentetik karbon üretimi Anadolu kıyıları için bahar mevsimi  $247-1925 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ortalaması ile, yaz  $405 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ve güz  $687 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  civarında değişim göstermiştir (Bologa vd., 1999). Anadolu kıyıları (C3 bölgesi) için hesaplanan değerler Bologa vd. (1999) tarafından belirtilen değerlerden genel olarak daha düşüktür. Söz konusu çalışmada kullandıkları veriler daha çok yoğun ötrofik koşulların görüldüğü yıllara ait olduğundan bu azalış Chl-*a* verilerin de daha önce belirtilen azalışa benzer şekilde Karadeniz' in düzleşme, mezotrofik bir rejime doğru kaydığını gösteren ip uçları olabilir. Yine, Yılmaz vd. (2006)'da belirtildiği üzere Kuzey Batı şelfinde yapılan çalışmalarda mayıs-haziran 2001 dönemi boyunca birincil üretim değerlerinin  $112-355 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  civarında bulunmuştur. Bu değerler bu çalışmadaki model çıktıları ile uyum içinde olup daha önce aynı alan için belirtilen günlük üretim miktarlarının çok çok altındadır.

Açık deniz alanları için nutrient girdisi dikey karışım ile sağlanırken kıyı alanlarında bu tatlı su girdisi ve kıyı sedimentlerinin tekrar askı hale geçmesi ile elde edilir. Derin



deniz alanları için verimlilik ilki Şubat sonu veya mart başı olmak üzere haziran-temmuz ve ekim-kasım aralığında 3 pik şeklinde tarif edilmiştir. 1991 yılında, yapılan çalışmalarda kasım-aralık dönemi için yaklaşık  $100\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  gözlenmiştir (Stelmakh vd., 1998). 1988-1993 yılları arasında yapılan ölçümlerde batı derin bölgede Mart ayı için  $640\pm 320\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ , haziran ayı için  $517\pm 280\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  değerleri gözlenmiştir. En düşük değer  $80\pm 20\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile aralık ayında rastlanmıştır. Hesaplanan değerler 2003, 2004 ve 2005 yılı için aralık ayının gerçekten de Karadeniz için en düşük verimlilik düzeylerinin görüldüğü peryod olduğunu teyit etmektedir. Bunun yanında, derin bölge için birincil üretimin nitrat tarafından sınırlandırıldığı belirtilmiştir (Stelmakh ve Krivenko., 2003). Derin bölgelerde bahar pik değeri şubat veya mart ayında ortaya çıkar örneğin, 1988 Batı Siklonunda mart ayı başlarında, 1991 yılında ise şubat ayında kendini göstermiştir. Derin bölgelerde mart sonu ve nisan ayı başlarında diatomlar ölerek yerini *Ceratium furca*, *Ceratium fusus*, *Exuviella cordata* ve coccolith' lere bırakırlar. Eş zamanlı olarak mayıs ta fotosentetik üretim  $150\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  minimum değerine düşer. Genel olarak, 1960-1991 peryodu için Kuzeybatı kıyusal zonu için  $570-1200\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ , kıtasal yamaç için  $320-500\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ve derin bölgeler için  $100-370\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  şeklinde verilmiştir (Bologa vd., 1999). Bunun yanında, Karadeniz'de Chl-*a*'nın biri bahar diğeri güz olmak üzere yılda 2 kez pik verdiği ama son zamanlarda bunun yaz mevsiminde görülen maksimum ile 3 pik' e doğru gittiği ve birincil üretimin yıl boyunca derin bölge zonunda, kıyusal alandan daha düşük değerler gösterdiği belirtilmiştir (Ediger ve Yılmaz, 2003). Yapılan çalışmada mevsimsel maksimum değerleri ve zamanlarını yakalamada RM modeli başarısız olmuştur. Ancak, BF yıllık dağılım karakteristiği olarak 2 pik PM ise 3 pik yakalayabilmiştir. PM'in Ediger ve Yılmaz (2003)'de belirtildiği üzere mevsimsel karakteristiği yakalaması model girdisi olarak Finenko vd.(2002) ışık-fotosentez parameterelerini kullanmasından kaynaklanmış olabilir. Bununla birlikte BF bahar maksimum değerini yaz ile birleştirerek mayıs minimum peryodunu belirginleştirememiştir. Benzer şekilde, Yılmaz vd. (1998b), 1990-1996 peryodu için Chl-*a*'nın bahar, yaz ve güz olmak üzere 3 pik gösterdiğini ortaya koymuş ve aynı dönemde kıyusal alanlar için  $0,02-34\text{mgm}^{-3}$  ve derin bölgeler için  $0,02-2,5\text{mgm}^{-3}$  konsantrasyonlarını bulmuştur. Açık deniz A2 bölgesi için Yılmaz vd.(2006) 2001 yılında yapmış oldukları çalışmalarda  $112-145\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  olarak buldukları birincil üretim değeri PM modeli çıktısı olan 2003 verilerine göre aynı bölge ve dönem için  $111-148\text{mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Buda PM modelinin yersel değerleri yakalamadaki etkinliğini ortaya koymaktadır. Mevsimsel ve yıllık değişim açısından

kıyısal bölgeler , açık derin deniz bölgelerine göre daha çok çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar farklı kıyısal organizma gruplarının mevsimsel değişiminin tipik ılıman iklim zonuna uyduğunu ortaya çıkarmıştır. Mevsimsel termoklin oluştuktan hemen sonra bahar patlaması ortaya çıkmakta ve buna paralel olarak pelajik ekosistem de mevcut zooplanktonlar bir sonraki güz patlaması oluşana kadar mevcut fitoplankton konsantrasyonunu azaltmaktadır (Vinogradov vd., 1999). Antropojenik etki altında Karadeniz ekosistemi son 15-25 yıl içinde önemli derecede değişim göstermiş ve aşırı artan verimlilik düzeyleri optik ve kimyasal yapıyı etkilemiştir. Son 20 yıl içinde fotosentetik üretimin 2 kat arttığı belirtilmiştir (Bologa vd., 1999). Genelde 20 yıllık salınımlar ile ifade edilen kış mevsimi sıcaklık değerleri Karadeniz kış mevsiminin karakteristiği olarak ortaya çıkar ve verimliliği direkt etkiler. Aşırı düşük kış sıcaklıkları derin bölgelerdeki su kütlelerinin yüzeye çıkmasını sağlar ve olağan siklonik kenar akıntısının daha belirgin hale gelmesini sağlar. Bu belirginlik yaz mevsimi boyunca da devam eder ve yazın alt katmanlardaki nutrientin fotik zona çıkmasını sağlayarak birincil üretim için uygun koşullar oluşturur. Öyle ki; 1980-1993 yılları arasında hava sıcaklığında görülen kademeli azalmayla eş zamanlı olarak yaz fitoplankton konsantrasyonlarında artış gözlemlenmiştir. En yüksek ve en düşük fitoplankton konsantrasyonları en yüksek ve en düşük sıcaklık ile ters olarak ilişkilendirilmekte ve bir sonraki sıcak-soğuk dönem için 1998-2000 ile 2010-2012 şeklinde tahmin edilmektedir. Eğer bu hipotez doğru ise 1980 yılı birincil üretim miktarının 2000 yılı 1990 yılı üretim miktarının da 2010 yılı ile benzeşmesi gerekir (Vinogradov vd., 1999). Benzer şekilde, Oguz vd. (2006)'da 10 yıllık hidrometeorolojik salınımların söz konusu olduğunu bunun da biyolojik süreçleri yüksek ve alçak basınç gradyanlarının hidrografiye olan etkisiyle belirginleştiğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla, Karadeniz oşinografisinin sürekli izlenmesi bu tip hipotezlerin geçerliliğinin kanıtlanması açısından da son derece önemlidir. Böylelikle ötrifikasyon başta olmak üzere diğer çevresel süreçlerde insan etkisi tam manası ile ortaya konabilecektir.

## 5. SONUÇLAR

Çalışmada sırası ile, NASA'nın SeaWiFS ve MODIS-Aqua ile ESA'nın MERIS uydu verilerinin kendi arasında karşılaştırılması, R/V KTU-Denar I araştırma gemisince toplanan yerinde ölçüm verileri ile karşılaştırılması ve toplanan veriler ile tarihi veri tabanları kullanılarak Karadeniz için önemli biyolojik parametrelerden potansiyel birincil üretimin hesaplanması konuları ele alınmıştır. Çalışma kapsamı, Karadeniz' in Anadolu kıyıları Kasım-2005 döneminde ve Güney Doğu Karadeniz kıyısal bölgeleri bahar-2006 ve yaz ve güz 2004 mevsimlerinde düzenli sefer verileri ile desteklenmiştir.

Farklı algılayıcılardan elde edilen görüntülerin karşılaştırılması sonucunda en yüksek  $R^2$  değeri MODIS-Aqua ile SeaWiFS arasında ( $R^2=0,88$ ;  $p<0,05$ ) bulunmuştur. Söz konusu algılayıcıların kullandıkları OC3M ve OC4V4 algortimaları aynı yerinde ölçüm verilerinden türetilen maksimum band oranı ampirik algortimalar olduğu ve ham görüntü, brincil işlem süreçleri benzer olduğundan bu uyuşum olağan bulunmuştur. Sırası ile diğer algılayıcılar arasında MERIS/SeaWiFS için  $R^2=0,76-0,79$  ve MODIS-Aqua/MERIS için  $R^2=0,74-0,76$  değerleri bulunmuştur. Tüm bunlar dikkate alındığında Chl-*a* açısından her üç algılayıcının birbirlerine ikame edebileceği sonucuna varılmıştır. OC3M, OC4V4 ve Algal1 algoritmalarında kıyısal ve açık deniz su kütleleri belirgin bir şekilde ortaya çıkarken Algal2 algoritması her iki su kütlelerini ayırmada başarısız kalmıştır. Ancak yine de kıyısal alanlarda diğer algortimalar ile yapılan karşılaştırmalarda Algal2 iyi sonuçlar vermiştir. Tüm görüntüler dikkate alındığında kıyısal sulardaki Chl-*a* konsantrasyonu  $\sim 2 \text{ mgm}^{-3}$ , ten büyük değerler ile açıkdeniz alanları  $\sim 1 \text{ mgm}^{-3}$  ve altında değerler ile temsil edildiği ortaya çıkmıştır. Farklı algılayıcı verilerinin harmanlanması konumsal ve zamansal olarak Karadeniz' in daha yüksek çözünürlük ile temsil edilmesini sağlayacaktır. Farklı algılayıcılardan elde edilen görüntüler görsel olarak analiz edildiğinde akıntı rejimi, upveling alanlarının belirlenmesi ve küçük ölçekli (1-10 gün) fiziksel, biyolojik süreçleri saptamada çok etkin bir araç olarak kullanılabilceği açıktır. Yine balıkçılık açısından son derece önemli bir depresyon alanı olan Batum antisiklonunun oluşumunun nisan sonunda başladığı ve haziran ayı itibarı ile bu hidrografik karakteristiğin belirginleştiği saptanmıştır. Kıyısal filament, kıvrım ve döngülerin Karadeniz verimliliği açısından ne denli önemli olduğu vurgulanmıştır. Yersel veri ile uydu verisi karşılaştırılırken özellikle mevsimsel farklılıkların ve mevcut su kütlesi tipinin dikkate alınması gerekir.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen MODIS-Aqua, OC3M ve SST verileri ile yersel verilerin karşılaştırılması sonucunda kış mevsimi için  $R^2=0,61$ , bahar mevsimi  $R^2=0,30$  ve yaz-güz mevsimi için  $R^2=0,55$ , ( $p<0,05$ ) bulunmuştur. Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde OC3M'in yersel verilere göre 2,6 kat fazla tahmin ettiği saptanmıştır. Mevsimsel karşılaştırma aşamasında yersel ile uydu verileri arasında en yüksek hata ve en düşük korelasyon bahar mevsimine aittir. Bunun nedeni olarak, özellikle bahar mevsiminde kıyısularda meydana gelen hareketliliğin etkisi olabileceği varsayımı üzerinde durulmuştur. MODIS-Aqua SST verileri ile yapılan şubat-mayıs dönemine ait karşılaştırmalarda,  $R^2=0,95$  bulunmuştur. Buradan uydu SST verilerinin diğer parametrelere nazaran daha güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Şüphesiz bu özellik birçok oşinografik uygulama için kullanılabilir niteliktedir. Birlikte değerlendirildiklerinde Chl-*a* ve SST verilerinin birbirlerini tamamlayan iki değişken olduğu ve birlikte yorumlandıklarında sinoptik olarak fiziksel ve biyolojik süreçleri ortaya koymada etkin oldukları vurgulanmıştır.

Karadeniz'in Anadolu kıyısı boyunca Kasım-2005 periyodunda gerçekleştirilen yerinde ölçümler sonucunda, çalışma süresince taranan zonun genel olarak yüzey maksimum Chl-*a* ve AKM karakteristiğinde olduğu saptanmıştır. Yüzey sularında, AKM değerleri  $4,76\pm 3,56 \text{ grm}^{-3}$  ve Chl-*a* değerleri  $1,39\pm 1,31 \text{ mgm}^{-3}$  civarında değişim göstermiştir. Yapılan ölçümler sonucunda, özellikle 0-25 m' lik kolonun yoğun AKM etkisi altında olduğu saptanmıştır. Karışım, dağılma ve çözülmeden sonra yaklaşık olarak AKM yüzey değerlerinin %50' si 50 m derinlik zonuna ulaşabilmiştir.  $K_d$  parametresi,  $0,21-0,66 \text{ m}^{-1}$  arasında ve ortalama  $0,36\pm 0,17 \text{ m}^{-1}$  değişim göstermiştir. Buna uygun olarak, fotik zon 7-21 m arasında ölçülmüştür.  $K_d$  parametresi ile  $K_d(490)$  uydu verisi arasında değerlerin örtüşmesi bu tip uydu verilerinin de yersel veriyi tahmin etmede etkinliğini göstermesi açısından önemli bulunmuştur. Elde edilen CTD verileri 40-50 m ye kadar hemen hemen kıyısularda homojen bir su kütlesi olduğunu ortaya koymuştur. Ortalama sıcaklık  $13-14 \text{ }^\circ\text{C}$ , tuzluluk, ‰16-17 ve Sigma- $\phi$   $13-14 \text{ kgm}^{-3}$  civarındadır. Ölçülen parametrelerin geniş bir aralığa yayılmış olması çalışılan zon ile ilgili hareketliliğin nedeni yüksek olduğunu gösteren diğer bir özelliktir. Söz konusu tüm uydu verileri birlikte değerlendirildiğinde özellikle su kütlelerinin karakterizasyonu, su kalitesi ve sınıflandırma amacı ile kullanılacakları ortaya konmuştur.

Yapılan çalışmalar sonucunda Karadeniz' de fototrofik potansiyel birincil üretimi ortaya koymak amacı ile üç farklı model denenmiş ve her bir çıktının diğerlerine göre

negatif ve pozitif yönleri ele alınmıştır. Bunun için Karadeniz yedi adet alt bölgeye ayrılarak değerlendirilmiştir. Sonrasında bu bölgeler kendi aralarında kıyısız ve açık deniz alanları şeklinde sınıflandırılarak her bir alanın genel üretime katkısı irdelenmiştir. Mevsimsel çözünürlük ve maksimumları yakalamak açısından her ne kadar PM modeli daha iyi başarı gösterse de BF' nin yersel veriden bağımsız çalıştırılabilmesi daha önemli bulunmuştur. Regresyon model çıktıları dikkate alındığında, açık alanlar için yıllık ortalama  $259 \pm 6 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  iken kıyısız alanlarda bu  $309 \pm 71 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  dür. Kıyı alanları için en yüksek yıllık ortalama  $357 \pm 163 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile C1 bölgesinde gerçekleşmiştir. Aynı bölge için en düşük değer  $280 \pm 35 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile ocak ayında gerçekleşirken maksimum değer  $603 \pm 583 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile kasım döneminde bulunmuştur. PM modeline göre, açık alanlar için en yüksek değer,  $153 \pm 11 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile haziran ayında ortaya çıkarken en düşük değer  $46 \pm 5 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile aralık ayında rastlamıştır. Yıllık ortalama baz alındığında A1 ve A2 alanları arasında belirgin bir fark olmadığı görülmüştür. Her iki alt bölge birlikte değerlendirildiğinde yıllık ortalama  $99 \pm 12 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile açık alanları karakterize eder. Kıyı alanları için yıllık ortalama  $161 \pm 64 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  şeklinde hesaplanmıştır. Kıyı alanları arasında en verimli bölge  $220 \pm 159 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  yıllık ortalama ile C1 bölgesidir. BF modeli ile yapılan hesaplamalar dikkate alındığında, açık alanlar için yıllık ortalama  $198 \pm 21 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ve kıyısız alan için  $322 \pm 128 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  şeklindedir. Kıyı alanları için en yüksek değer  $1067 \pm 873 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile C1 alt bölgesinde haziran ayında hesaplanmıştır, en düşük değer  $116 \pm 4 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile B1 bölgesinde aralık ayında rastlanmıştır. Benzer şekilde açık ve derin bölgeler için maksimum PP haziran ayında  $339 \pm 31 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  şeklinde ve minimum değer  $102 \pm 8 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$  ile aralık ayında bulunmuştur.

Yıllık birim alanda ki karbon üretimi 2002-2005 ortalamaları dikkate alındığında kıyı alanları için  $125 \text{ grCm}^{-2}$  iken açık alanlar için  $77 \text{ grCm}^{-2}$  civarında bulunmuştur. Karadeniz'in toplam yüzölçümü ve tüm alanlar için potansiyel üretim ~46 milyonton karbon olarak tahmin edilmiştir.

Global ölçekte meydana gelen ve günümüzde kendini artık günlük hayatta da hissettirmeye başlayan global ısınma ve iklim değişikliği konuları direkt karbon döngüsü ile ilişkili olduğundan, çok yakından okyanus ve denizlerde meydana gelen fiziksel ve biyolojik süreçleri de kapsar. Öyle ki, 2001 yılında iklim değişikliği konusunda uzman farklı ülke temsilcilerinin katıldığı ve fikir birliğine vararak sundukları raporda sera etkisinin 2100 yılına kadar  $1,4$  ile  $5,8^{\circ}\text{C}$  bir yüzey ısı artışı ile  $9-88 \text{ cm}$  arasında değişen bir

deniz seviyesi yükselmesi tahmin etmiştir. Ancak, en son yapılan araştırmalar bunun iyimser bir yaklaşım olduğunu ve gerçek etkinin daha büyük olabileceğini rapor etmektedir(Pittock, 2006). Bu bağlamda Karadeniz' in bu değişime nasıl cevap vereceğini ortaya koymak için yapılan çalışmada öngörülen yöntemler kullanılabilir. Çünkü tüm ekosistemin yüksek çözünürlüklü zamansal ve konumsal olarak izlenmesi ancak uzaktan algılama ve modelleme sayesinde olabilir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar kıyasal oşinografi ve mevcut karbon bütçesi durumunu ortaya koymak adına önemlidir. Böylelikle gelecekte yapılacak çalışmalara referans teşkil edecektir.

Çalışma uydu oşinografisi ve yerinde ölçüm tekniğinin entegrasyonu açısından örnek bir çalışma niteliğindedir. Çalışmanın bilimsel alanının hem teorik hem de uygulamalı olması ve hidrooptik, biyolojik oşinografi, fiziksel oşinografi, uzaktan algılama, modelleme gibi, çok disiplinli bilgi birikimi gerektirmesi, bu alanı zahmetli kılan en büyük etmenlerdir.

## 6. ÖNERİLER

Karadeniz marjinal bir deniz olup kendine has karakteristikleri ile yıllardır, ulusal ve uluslararası birçok oşinografik araştırma ekiplerine laboratuvar olmuş ve olmaya devam etmektedir. Çünkü, hem kıyısız hemde okyanus tipi özelliklere sahiptir. Bu nedenle, Karadeniz ile ilgili herhangi bir değerlendirme yapılırken bir çok faktörü birarada değerlendirmek gerekir. Gerçekleştirilen çalışma ölçek açısından, zamansal ve konumsal olarak tüm havzayı temsil edebilecek nitelikte olmuştur.

Teknik açıdan kullanılan, SeaWiFS, MODIS-Aqua ve MERIS standart algoritmaları ampirik esaslı olup daha çok Tip1 sular için dizayn edilmiştir. Bu bağlamda, Karadeniz için henüz kabul gören bir algoritma mevcut değildir. Ancak mevcut maksimum band algoritmalarının band kompozisyonunu kırmızı (510-555nm) bölgeye doğru iten bir takım algoritmalar önerilmiştir. Fakat, bunlarda çok başarılı olmamıştır. Karadeniz'deki temel problem atmosferik düzeltmenin mavi dalga boylarında bazen iyi sonuçlar vermemesidir. Bu nedenle, uzaktan algılama çalışmalarının daha çok atmosferik düzeltme işlemi üzerine yönlendirilmesi gerekir. Bununla birlikte, mevcut operasyonel algoritmalar ile üretilen veriler belirli bir hata yüzdesi ile kabul edilebilir niteliktedir. Öte yandan, tüm mevsim ve alanların temsil edildiği hiperspektral hidrooptik yersel veriye de ihtiyaç vardır. Bunun için hidrooptik çalışmaların, yoğun oşinografik seferler ile desteklenmesi şarttır. Gerçekleştirilecek bu tip çalışmaların uluslararası protokolleri baz alması gerekir ve özellikle optik aletlerin düzenli olarak kalibre edilmesi en önemli hususlardan biridir.

Farklı uydu görüntüleri karşılaştırılırken özellikle bulutluluk açısından temiz, radyometrik ve geometrik açıdan hatasız alanlar seçilmelidir. Ayrıca hidrografik olarak seçilen alanların göreceli olarak daha az değişimin görüldüğü durağan bölgeler olması korelasyonu arttırabilecektir. Kullanılacak karşılaştırma yöntemi için küçük alan ortalamaları kullanılırsa daha iyi korelasyonlar elde etmek mümkün olacaktır.

Yersel veri ile uydu verilerinin karşılaştırılması aşamasında, mümkün olduğunca her türlü hava koşulu ve mevsim için bu işlemin yapılması daha doğru sonuçlar verecektir. Böylelikle, mevsimlik veya yıllık sonuçlar daha güvenilir olacaktır. Özellikle bahar ve yaz mevsiminde gerçekleştirilen çalışmalarda çözünmüş organik maddenin dikkate alınması gerekir. Bu nedenle, özellikle geri yansıyan radyasyonun karakteristiğini oluşturan klorofil, askıda katı madde ve çözünmüş organik maddenin optik karakteristiklerinin eş zamanlı

olarak belirlenmesi gerekir. Bu amaçla gerçekleştirilecek oşinografik çalışmaların mümkün olduğunca, zamansal ve konumsal çözünürlüğünün yüksek olması ve süreklilik arz etmesi önemlidir.

Birincil üretimin belirlenmesinde özellikle BF modelinin geliştirilmesi yersel verilerden bağımsız çalışabilecek nitelikte olduğundan Karadeniz için hızlı bilgi üretilmesi açısından önemlidir. Bunun yanında özellikle yeterli veritabanı oluştuktan sonra tam spektral veya yapay sinir ağı modelleri denenebilir. Ancak, yerinde ölçüm tekniği ile birincil üretimin ölçülmesi model sonuç performansının değerlendirilmesi açısından son derece gerekli ve faydalı olacaktır.



## 7. KAYNAKLAR

- Aiken, J. ve Moore, G., 2000. Case 2 (S) Bright pixel atmospheric correction, MERIS Algorithm Theoretical Basis Document 2.6, Plymouth Marine Laboratory, Plymouth, 14s.
- Antoine, D., Morel, A.ve Andre, J.M., 1995. Algal pigment distribution and primary production in the Eastern Mediterranean as derived from Coastal Zone Color Scanner observations, Journal of Geophysical Research,100,193-209.
- Antoine, D., Andre, J.M.ve Morel, A., 1996. Oceanic primary production 2. Estimation at global scale from satellite (CZCS) chlorophyll, Global Biogeochemical Cycles,10, 57-69.
- Antoine, D. ve Morel, A.,1999. A multiple scattering algorithm for atmospheric correction of remotely sensed ocean colour (MERIS Instrument): principle and implementation for atmospheres carrying various aerosols including absorbing ones, International Journal of Remote Sensing, 20, 1875-1916.
- Antoine, D. ve Morel, A., 2000. Atmospheric correction over the ocean, (Case 1 Waters), MERIS Algorithm Theoretical Basis Document 2.7., Laboratoire de Physique et Chimie Marines, France, 165s.
- Armstrong, R.A., Sarmiento, J.L. ve Slater, R.D., 1995. Monitoring ocean productivity by assimilating satellite chlorophyll into ecosystem models, In:Ecological Time Series (Powell, T.M., Steele, J.H., Eds.), First Edition, International Thomson Publishing, NewYork, 371-390.
- Barale, V., Cipollini, P., Davidov, A. ve Melin, F.,2002. Water constituents in the North-Western Black Sea from optical remote sensing and in-situ data, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 54,309-320.
- Behrenfeld, M.J. ve Falkowski, P.G., 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration, Limnology and Oceanography, 42,1-20.
- Berseneva, G.P., Tolkachenko, G.A. ve Martynov, O.V., 2006. Summer dynamics of phytoplankton pigments with the optical parameters of shelf waters in the Black Sea (2001-2002), Physical Oceanography, 16, 36-51.
- Blondeau, P.D., Tilstone, G.H., Martinez-Vicente, V. ve Moore, G.F., 2004. Comparison of bio-physical marine products from SeaWiFS, MODIS and a bio-optical model with in-situ measurements from Northern European waters, Journals of Optics A:Pure and Applied Optics, 6, 875-889.

- Bologa, A.S., Frangopol, P.T., Vedernikov, V.I., Stelmakh, L.V., Yunev, O.A., Yilmaz, A. ve Oguz, T., 1999. Distribution of Planktonic Primary Production in the Black Sea, In: Environmental degradation of the Black Sea: Challenges and remedies, (Besiktepe, S.T., Unluata, U. ve Bologa, A.S., Eds.), Kluwer Academic Publishers, 131-145.
- Bricaud, A., Bosc, E. ve Antoine, D., 2002. Algal biomass and sea surface temperature in the Mediterranean Basin intercomparison of data from various satellite sensors and implications for primary production estimates, Remote Sensing of Environment, 81, 163-178.
- Brown, O.B. ve Minnett, P.J., 1999. MODIS Infrared sea surface temperature algorithm theoretical basis document, Version 2, University of Miami, Contract number NAS5-31361, 98 s.
- Campbell, J.W., 1995. The lognormal distribution as a model for bio-optical variability in the sea, Journal of Geophysical Research, 100, 237-254.
- Campbell, J.W., 2003. Development of algorithms and strategies for monitoring chlorophyll and primary productivity in coastal ocean, estuarine and inland water ecosystems, Final technical report: NAS5-96063, 20s.
- Darecki, M. ve Stramski, D., 2004. An Evaluation of MODIS and SeaWiFS Bio-optical algorithms in the Baltic Sea, Remote Sensing of Environment, 89, 326-350.
- Doerffer, R., Sorensen, K. ve Aiken, J., 1999. MERIS potential for coastal zone applications, International Journal of Remote Sensing, 20, 1809-1818.
- Doerffer, R. ve Schiller, H., 2006, The MERIS Neural Network Algorithm, In: Remote sensing of inherent optical properties fundamentals, tests of algorithms and applications (Lee, Z.P., Ed.) Reports of International Ocean-Colour Coordinating Group, Dartmouth, Canada, 5, 43-48.
- Ediger, D. ve Yilmaz, A., 2003. The primary production and optical status of the NE Mediterranean and Black Sea, In: Proceedings of oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea: similarities and differences of two interconnected basins (Yilmaz, A., Ed.), TÜBİTAK, Ankara, 479-486.
- Falkowski, P.G. ve Raven, J.A., 2007. Aquatic photosynthesis, Princeton University Press, Second edition, Oxfordshire, 484s.
- Ferrari, G.M., Bo, F.G. ve Babin, M., 2003. Geo-Chemical and Optical Characterizations of Suspended Matter in European Coastal Waters, Estuarine Coastal and Shelf Science, 57, 17-24.
- Finenko, Z.Z., 1978. Production in Plant Populations, In: Marine Ecology; A comprehensive integrated treatise on life in oceans and coastal waters dynamics (Kinne, O., Ed.), Wiley Interscience, Chichester, United Kingdom, 13-87.

- Finenko, Z.Z., Churilova, T.Y., Sosik, H.M. ve Basturk, O., 2002. Variability of photosynthetic parameters of the surface phytoplankton in the Black Sea, Marine Biology, 42, 60-75.
- Folkestad, A., Pettersson, L.H. ve Durand, D.D., 2007. Inter comparison of ocean color data products during algal blooms in the Skagerrak, International Journal of Remote Sensing, 28, 569-592.
- Gardner, W.D., Mishonov, A.V. ve Richardson, M.J., 2006. Global POC concentrations from in-situ and satellite data, Deep Sea Research Part II, 53, 718-740.
- Ginzburg, A.I., Kostianoy, A.G., Krivosheya, V.G., Nezhlin, N.P., Soloviev, D.M., Stanichy, S.V. ve Yakubenko, V.G., 2002. Mesoscale eddies and related processes in the NorthEastern Black Sea, Journal of Marine Systems, 32, 71-90.
- Ginzburg, A.I., Kostianoy, A.G. ve Sheremet, N.A., 2004. Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data, Journal of Marine Systems, 52, 33-50.
- Gohin, F., Lampert, L., Guillaud, J.F., Herbland, A. ve Nezan, E., 2003. Satellite and in situ observations of a late winter phytoplankton bloom, in the northern Bay of Biscay, Continental Shelf Research, 23., 1117-1141.
- Gregg, W.W. ve Casey, W.N., 2004. Global and regional evaluation of SeaWiFS data set, Remote Sensing of Environment, 93, 463-499.
- Guneroglu, A., Kose, E., Karsli, F., Feyzioglu, M. ve Kurt, I., 2005., Mapping and Comparison of Different Sensors' Geophysical Products in the Eastern Black sea Region, In: Proc.of the MERIS (A)ATSR Workshop, ESA SP-597, Frascati, Italy.
- Ivanov, L., Konovalov, S., Melnikov, V., Mikealyan, A., Yunev, O., Basturk, O., Belekopytov, V., Besiktepe, S., Bodeanu, N., Bologa, A., Cociasu, A., Diakonu, V., Kamburska, L., Kideys, A., Mankovsky, V., Moncheva, S., Nezhlin, N., Niermann, U., Petranu, A., Shalovenkov, N., Shuskina, E., Salihoglu, I., Senichkina, L., Uysal, Z., Vedernikov, V., Yakubenko, V., Yakushev, E. ve Yilmaz, A., 1998. Physical, Chemical and Biological Data Sets of the TU Black Sea Database: Description and Evaluation, In: Ecosystem Modeling as a management Tool for the Black Sea (Ivanov, L.I., Oguz, T., Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1, 11-38.
- Kaiser, M.J., Attrill, M.J., Jennings, S., Thomas, D.N., Barnes, D.K.A., Brierley, A.S., Polunin, N.V.C., Raffaelli, D.G. ve Williams, P.J.B., 2005. Marine Ecology, Oxford University Press, New York, 557s.
- Karabashev, G.S., Evdoshenko, M.A. ve Shebestov, S.V., 2006. Normalized radiance spectrum as a water exchange event diagnostic, International Journal of Remote Sensing, 27, 1175-1792.

- Karageorgis, A., Anagnostou, C., Georgopoulos, D. ve Albuissou, M., 2000. Distribution of suspended particulate matter determined by in-situ observations and satellite images in the NW Aegean Sea (Greece), Geo-Marine Letters, 20, 93-100.
- Kideys, A., 2002. Fall and rise of the Black Sea ecosystem, Science, 297, 1482-1484.
- Kirk, J.T.O., 1994, Light and photosynthesis in aquatic ecosystems, Cambridge University Press, Second edition, Canberra, Australia, 509s.
- Kopelevich, O.V., Sheberstov, S.V., Yunev, O., Basturk, O., Finenko, Z.Z., Nikonov, S. ve Vedernikov, V.I., 2002. Surface chlorophyll in the Black Sea over 1978-1986 derived from satellite and in situ data, Journal of Marine Systems, 36, 145-160.
- Kopelevich, O.V., Burenkov, V.I., Ershova, S.V., Sheberstov, S.V. ve Evdoshenko, M.A., 2004. Application of SeaWiFS data for studying variability of bio-optical characteristics in the Barents, Black and Caspian seas, Deep Sea Research, 51, 1063-1091.
- Lalli, C.M. ve Parsons, T.R., 2004. Biological oceanography an introduction, Elsevier, Second edition, Amsterdam, 314s.
- Longhurst, A.R., 1998. Ecological geography of the sea, Academic Press, California, 400s.
- Mankovsky, V.I., Vladimirov, V.L., Solovev, M.V. ve Besiktepe, Ş.T., 1998. Optical properties of the Black Sea: Results of the CoMsBlack and TU-BlackSea programs, In: Ecosystem Modeling as a management Tool for the Black Sea (Ivanov, L.I., Oguz, T., Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2, 145-161.
- Miller, C.B., 2004. Biological Oceanography, Blackwell Publishing, Cornwall, 402s.
- Mobley, C.D., 1994. Light and water: Radiative transfer in natural waters, Academic Press, San Diego, 592s.
- Moore, G., Aiken, J., ve Lavender, S. J., 1999. The atmospheric correction of water colour and the quantitative retrieval of suspended particulate matter in Case II waters: application to MERIS, International Journal of Remote Sensing, 20, 1713-1733.
- Morel, A., Barale, V., Bricaud, A., Campbell, J., Hoepffner, N., Kishino, M., Lewis, M., Sathyendranath, S. ve Yoder, J., 1998. Minimum requirements for an operational ocean-colour sensor for the open ocean, Reports of International Ocean-Colour Coordinating Group, Dartmouth, Canada, 1, 46s.
- Morel, A. ve Antoine, D., 2001. Pigment index retrieval in Case 1 Waters, MERIS Algorithm Theoretical Basis Document 2.9., Laboratoire de Physique et Chimie Marines, France, 26s.
- Morel, A. ve Berthon, J.F., 1989. Surface pigments, algal biomass profiles and potential production of the euphotic layer: relationships reinvestigated in view of remote sensing applications, Limnology and Oceanography, 34, 1545-1562.

- Nezlin, N.P., Kostianoy, A.G. ve Gregoire, M., 1999. Patterns of seasonal and interannual changes of surface chlorophyll concentration in the Black Sea revealed from remote sensed data, Remote Sensing of Environment, 69, 43-55.
- O'Reilly, J. E., Maritorena, S., O'Brien, M.C., Siegel, D.A., Toole, D., Menzies, D., Smith, R.C., Mueller, J.L., Mitchell, B.G., Kahru, M., Chavez, F.P., Strutton, P., Cota, G.F., Hooker, S.B., McClain, C.R., Carder, K.L., Müller-Karger, F., Harding, L., Magnuson, A., Phinney, D., Moore, G.F., Aiken, J., Arrigo, K.R., Letelier, R. ve Culver, M., 2000. SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, In: SeaWiFS Postlaunch Technical Report Series (Hooker, S.B., Firestone, E.R., Eds.), NASA/TM-2000-206892, NASA Goddard Space Flight Center, 11, 50s.
- Oguz, T. Cokacar, T., Rizzoli-Malonette, P. ve Ducklow, H.W., 2003. Climatic warming and accompanying changes in the ecological regime of the Black Sea during 1990s, Global Biogeochemical Cycles, 17, 1088-1099.
- Oguz, T., Dippner, J.W. ve Kaymaz, Z., 2006. Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at interannual-to-decadal time scales, Journal of Marine Systems, 60, 235-254.
- Özsoy, E. ve Ünlüata, Ü., 1997. Oceanography of the Black Sea: A review of some recent results, Earth-Science Reviews, 42, 231-272.
- Panin, N. ve Jipa, D., 2002. Danube river sediment input and its interaction with North-Western Black Sea, Estuarine, Coastal and Shelf Sciences, 54, 551-562.
- Parsons, T.R., Takahashi, M. ve Hargrave, B., 1984. Biological oceanographic processes, Pergamon Press, Third Edition, Exeter, 330s.
- Pinkerton, M.H., Richardson, K.M., Boyd, P.W., Gall, M.P., Zeldis, J., Oliver, M.D. ve Murphy, R.J., 2005. Intercomparison of ocean colour band-ratio algorithms for chlorophyll concentration in the subtropical front East of New Zealand, Remote Sensing of Environment, 97, 382-402.
- Pittock, A.B., 2006. Are scientists underestimating climate change?, EOS Transactions-American Geophysical Union, 87, 340.
- Platt, T., Gallegos, C. L. ve Harrison, W. G., 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. Journal of Marine Research, 38, 687-701.
- Platt, T., Sathyendranath, S. ve Ravindran, P., 1990. Primary production by phytoplankton: analytic solutions for daily rates per unit area of water surface, Proceedings of Royal Society of London B, 241, 101-111.
- Platt, T. ve Sathyendranath, S., 2005. Modelling marine primary production, EU-JRC Ocean Color Course Notes, Italy, 282s.

- Poulain, P.M., Barbanti, R., Motyzhev, S. ve Zatsepin, A., 2005. Statistical description of the Black Sea near-surface circulation using drifters in 1999-2003, Deep-Sea Research I, 52, 2250-2274.
- Reschke, S., Ittekkot, V. ve Panin, N., 2002. The nature of organic matter in the Danube River particles and North-western Black Sea sediments, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 54, 563-574.
- Saliot, A., Parrish, C.C., Sadouni, N., Boulobassi, I., Fillaux, J. ve Cauwet, G., 2002. Transport and fate of Danube Delta terrestrial organic matter in the Northwest Black Sea mixing zone, Marine Chemistry, 79, 243-259.
- Sancak, S., Besiktepe, S., Yilmaz, A., Lee, M. ve Frouin, R., 2005. Evaluation of SeaWiFS chlorophyll-a in the Black and Mediterranean Seas, International Journal of Remote Sensing, 26, 2045-2060.
- Sarmiento, J.L. ve Gruber, N., 2006. Ocean biogeochemical dynamics, Princeton University Press, New Jersey, 503s.
- Scardi, M. ve Harding, L.W., 1999. Developing an empirical model of phytoplankton primary production a neural network case study, Ecological Modelling, 120, 213-223.
- Scardi, M., 2001. Advances in neural network modelling of phytoplankton primary production, Ecological Modelling, 146, 33-45.
- Steemann, N. E., 1975. Marine photosynthesis, Elsevier, Amsterdam, 133s.
- Stelmakh, L.V., Yunev, O.A., Finenko, Z.Z., Vedernikov, V.I., Bologa, A.S. ve Churilova, T.Y., 1998. Peculiarities of Seasonal Variability of Primary Production in the Black Sea, In: Ecosystem Modeling as a management Tool for the Black Sea (Ivanov, L.I., Oguz, T., Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1, 93-104.
- Stelmakh, L.V. ve Krivenko, O.V., 2003. Seasonal variability of new primary production in the western open part of the Black Sea, In: Proceedings of oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea: similarities and differences of two interconnected basins (Yilmaz, A., Ed.), TÜBİTAK, Ankara, 471-478.
- Strickland, J.D.H. ve Parsons, T.R., 1972. A practical handbook of seawater analysis, Fisheries Research Board of Canada, 311s.
- Sur, H.I., Özsoy, E., Ilyin, Y.P. ve Ünlüata, Ü., 1996. Coastal/Deep ocean interactions in the Black Sea and their ecological-environmental impact, Journal of Marine Systems, 7, 293-320.
- Tait, R.V. ve Dipper, F.A., 1998. Elements of Marine Ecology, Buterworth-Heinemann, Fourth Edition, Wiltshire, 462s.

- Tilstone, G.H., Moore, G.F., Sorensen, K., Doerffer, R., Røttgers, R., Ruddick, K.G., Pasterkamp, R. ve Jørgensen, P.V., 2002. Regional Validation of MERIS Chlorophyll Products in North Sea Coastal Waters (REVAMP) protocols, EVG1CT2001, Plymouth, 78s.
- Tolmazin, D., 1985. Changing coastal oceanography of the Black Sea. I: Northwestern shelf. Progress in Oceanography ,15, 217–276.
- Vinogradov, M.E., Shushkina, E.A., Mikealyan, A.S. ve Nezlin, N.P., 1999. Temporal Changes of ecosystem of the Open Waters of the Black Sea, In: Environmental degradation of the Black Sea: Challenges and remedies, (Besiktepe, S.T., Unluata, U. ve Bologna, A.S., Eds.), Kluwer Academic Publishers, 109-129.
- Vladimirov, V.L., Besiktepe, S.T. ve Aubrey, D.G., 1998. Database and database management system of the TU-Black Sea Project, In: Ecosystem Modeling as a management Tool for the Black Sea (Ivanov, L.I., Oguz, T., Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1, 1-10.
- Vladimirov, V.L., Besiktepe, S.T. ve Aubrey, D.G., 1999. Database and database management system of the TU-Black Sea Project, In: Environmental degradation of the Black Sea: Challenges and remedies, (Besiktepe, S.T., Unluata, U. ve Bologna, A.S., Eds.), Kluwer Academic Publishers, 291-301.
- Vollenweider, R.A., 1969. A Manual for Measuring Primary Production in Aquatic Environments, Blackwell Scientific Publications, Oxford-Edinburgh, 211s.
- Yayla, M., Yılmaz, A. ve Morkoç, E., 2001. The dynamics of nutrient enrichment and primary production related to recent changes in the ecosystem of the Black Sea, Aquatic Ecosystem Health and Management, 4, 33-49.
- Yılmaz, A., Tugrul, S., Polat, C., Ediger, D., Coban, Y. ve Morkoc, E., 1998a. On the production, elemental composition (C,N,P) and distribution photosynthetic organic matter in the Southern Black Sea, Hydrobiologia, 363, 141-156.
- Yılmaz, A., Yunev, O.A., Vedernikov, V.I., Moncheva, S., Bologna, A., Cociasu, A. ve Ediger, D., 1998b. Unusual Temporal Variations in the Spatial Distribution of Chlorophyll-a in the Black Sea, In: Ecosystem Modeling as a management Tool for the Black Sea (Ivanov, L.I. ve Oguz, T., Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1, 105-120.
- Yılmaz, A., Çoban-Yıldız, Y., Telli-Karakoç, F. ve Bologna, A., 2006. Surface and mid-water sources of organic carbon by photoautotrophic and chemoautotrophic production in the Black Sea, DeepSea Research II, 53, 1988-2004.
- Yunev, O., Vedernikov, V.I., Basturk, O., Yılmaz, A., Kideys, A., Moncheva, S. ve Kononov, S.K., 2002. Longterm variations of surface chlorophyll-a and primary production in the open Black Sea, Marine Ecology Progress Series, 230, 11-28.

Zaitsev, Y.P., Alexandrov, B.G., Berlinsky, N.A. ve Zenetos, A., 2002. Europe's biodiversity- The Black Sea, European Environmental Agency, Final Report, 23s.

Zaneveld, J.R.V., Twardowski, M.J., Barnard, A., Lewis, M.R., 2005. Introduction to radiative transfer, In: Remote Sensing of Coastal Aquatic Environments (Miller, R.L., Del Castillo, C.E. ve McKee, B.A., Eds.), Springer, Dordrecht, 1-18.



## ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Mardin ili Merkez ilçesinde doğdu. İlk öğrenimine aynı ilde başladıktan sonra orta okul ve liseyi İstanbul ilinde tamamladı. 1992-1994 yılları arasında Trakya Üniversitesi Gümrük İşletme Bölümünü bitirdi, 1994-1998 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği bölümünü bitirdi. 2000 yılında araştırma görevlisi olarak atandı. 2000-2002 yılları arasında KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği ABD' da, "Denizel Verilerin CBS Tekniği ile Modellenmesi" konulu yüksek lisans tez çalışması ile "Balıkçılık Teknolojisi Yüksek Mühendisi" ünvanını aldı. 2002 yılında aynı ABD' da doktora eğitimine başladı. 2004 yılında POGO-IOC-SCOR bursu ile Kanada, Bedford Oşinografi Enstitüsü'nde yardımcı asistan olarak çalıştı. 2005 yılında TÜBİTAK-NATO A2 bursu ile İngiltere, Plymouth Üniversitesi, SEOES' te misafir araştırmacı olarak çalıştı. 2005 yılında R/V Prince Madog ile Bristol Kanalı araştırma seferine katıldı. Ulusal ve uluslararası bir çok konferans, toplantı ve projeye katıldı. Halen, KTÜ Deniz Bilimleri Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.