



T.C.

**RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI CO₂ KONSANTRASYON KOŞULLARI ALTINDA
FİTOPLANKTON BİRİNCİL ÜRETİMİNİN MEVSİMSEL
DEĞİŞİMİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Melek YENER HELVACI

**Danışman
Prof. Dr. Ertuğrul AĞIRBAŞ**

RİZE

2024

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalında, Prof. Dr. Ertuğrul AĞIRBAŞ danışmanlığında, Melek YENER HELVACI tarafından hazırlanan *Farklı CO₂ Konsantrasyon Koşulları Altında Fitoplankton Birincil Üretiminin Mevsimsel Değişimi* adlı bu tez çalışması, 19/08/2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Ünvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Ertuğrul AĞIRBAŞ	
Üye	: Prof. Dr. Ali Muzaffer FEYZİOĞLU	
Üye	: Prof. Dr. Ahmet Mutlu GÖZLER	

ETİK BEYAN

Su Ürünleri Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Farklı CO₂ Konsantrasyon Koşulları Altında Fitoplankton Birincil Üretiminin Mevsimsel Değişimi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılacak bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

19/08/2024

Melek YENER HELVACI

ÖN SÖZ

Güneydoğu Karadeniz ekosisteminde birincil üretim miktarlarının mevsimsel değişiminin araştırıldığı bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri Ana Bilim Dalı'nda "Yüksek Lisans Tezi" olarak hazırlanmıştır. Çalışma süresince Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi bünyesinde bulunan araştırma laboratuvarları kullanılırken saha çalışmalarında ise R/V KARADENİZ ARAŞTIRMA ve Trabzon Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü bünyesindeki R/V SÜRAT ARAŞTIRMA I gemisi kullanılmıştır.

Bu çalışmayı yapma olanağı sağlayan, yüksek lisans öğrenimim boyunca, tez aşamasının her anında önerileri ve paylaşımlarıyla yardımını ve desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Sayın. Prof. Dr. Ertuğrul AĞIRBAŞ'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Saha çalışmaları ve laboratuvar aşamasında yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Ertuğrul AĞIRBAŞ ve Doç. Dr. Serdar DİZMAN'a, proje ekibine (Prof. Dr. Ali Muzaffer FEYZİOĞLU, Prof. Dr. Kenan GEDİK, Doç. Dr. Tanju MUTLU, Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ŞAHİN ve Kimya Yüksek Mühendisi Dilek FİDAN), Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi bünyesinde bulunan R/V KARADENİZ ARAŞTIRMA ve Trabzon Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü'ne ve R/V SÜRAT ARAŞTIRMA I gemi personeline teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında, eğitimim sırasında ne zaman ihtiyaç duysam yanımda olan, her zaman maddi ve manevi destekleri ile esirgemeyen sevgili eşim Ahmet HELVACI, canım ailem; babam Nizamettin YENER, annem Ayla YENER ve kardeşlerim Faruk ve Muzaffer YENER'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi "TÜBİTAK tarafından 122Y126 nolu proje" ile desteklenmiştir.

Melek YENER HELVACI

2024 / RİZ

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
TABLolar LİSTESİ	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Dolaylı (İndirekt) Yöntemler	6
1.1.1. Besleyici Tuzlardan Yararlanılarak Yapılan Ölçüm	6
1.1.2. CO ₂ Değişimlerinden Yararlanılarak Yapılan Ölçüm	7
1.2. Doğrudan (Direkt) Yöntemler	7
1.2.1. Oksijen Yöntemi	7
1.2.2. Klorofil-a Metodu	8
1.2.3. Karbon 14 (C-14) Yöntemi	8
1.2.4. Azot 15 (N 15) Yöntemi	9
1.2.5. Diğer Yöntemler	9
1.3. Çalışmanın Önemi ve Önceki Çalışmalar	10
2. MATERYAL VE METOT	12
2.1. Çalışma Sahası	12
2.2. Fiziko-Kimyasal Ortam	15
2.3. CO ₂ Zenginleştirme Deneyleri	16
2.4. Fitoplankton Komünite Yapısı	21
2.4.1. Fitoplankton Örneklerinin Teşhisi	21
2.4. Birincil Üretim Deneyleri	24
2.5. Karbon Kimyası (pH, CO ₂ , Alkalinite, Toplam Alkalinite ve Klorofil-a Ölçümleri)	29
2.6. Besin Elementi Analizleri	30
2.7. Analiz ve Değerlendirme	31
3. BULGULAR	32
3.1 Hidrografi	32
3.2. CO ₂ -Birincil Üretim İlişkisi	40

3.3. CO ₂ -Karbon Kimyası İlişkisi	49
3.4. Fitoplankton Kommunité Yapısı.....	59
3.4.1. CO ₂ -Fitoplankton İlişkisi	59
3.4.2. Kalitatif ve Kantitatif Fitoplankton Değişimi	65
3.5. CO ₂ -Besin Elementi İlişkisi	73
4. TARTIŞMA	83
4.1. Hidrografi.....	83
4.2. CO ₂ -Birincil Üretim İlişkisi	91
4.3. Fitoplankton Kommunité Yapısı.....	94
4.4. CO ₂ -Besin Elementi İlişkisi	95
4.4.1. Nitrit ve Nitrat	95
4.4.2. Fosfat.....	96
4.4.3. Silikat	98
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	101
KAYNAKÇA.....	103

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ana Bilim Dalı : Su Ürünleri

Tez Türü : Yüksek Lisans

Danışman : Prof. Dr. Ertuğrul AĞIRBAŞ

Hazırlayan : Melek YENER HELVACI

Yıl : 2024

Sayfa Sayısı : 113

ÖZET

FARKLI CO₂ KONSANTRASYON KOŞULLARI ALTINDA FİTOPLANKTON BİRİNCİL ÜRETİMİNİN MEVSİMSEL DEĞİŞİMİ

Güney Doğu Karadeniz ekosisteminde Kasım 2021-Kasım 2023 tarihleri arasında yürütülen bu çalışmada doğal fitoplankton örneklerinde ilk defa mevsimsel olarak yürütülen inkübasyon deneyleri ile CO₂ zenginleştirmesinin (360 ppm, 600 ppm, 760 ppm) ve sıcaklık değişimlerinin (ortam sıcaklığı ve +3°C üstü) fitoplankton birincil üretimi ve komünite yapısı üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, C-14 inkübasyon deneyleri ile fitoplankton boy gruplarına (pikofitoplankton, nanofitoplankton ve mikrofıtoplankton) ait birincil üretim miktarları belirlenmiştir. Böylelikle farklı boy gruplarının mevsimsel ölçekte birincil üretime yaptıkları katkı ile birlikte gerek fitoplankton canlı kütlesi ile gerekse CO₂ ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak birincil üretim miktarlarının nasıl değişeceği de ortaya konulmuştur. Çalışma kapsamında 2 farklı istasyonda (kıyı ve açık) 10 m derinlikten mevsimsel örneklemeler yapılmış ve inkübasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma süresince toplam birincil üretim miktarları 41-8553 mgCm⁻²g⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Fitoplankton boy grupları açısından bir değerlendirme yapıldığında ise mikrofıtoplankton en yüksek birincil üretim miktarlarıyla (6-6410 mgCm⁻²g⁻¹) öne çıkan grup olurken bunu nanofıtoplankton (9-3552 mgCm⁻²g⁻¹) ve pikofıtoplankton (1-946 mgCm⁻²g⁻¹) takip etmiştir. Denemelerde CO₂ konsantrasyonunun artışına bağlı olarak birincil üretim miktarlarının da arttığı tespit edilirken sıcaklık-CO₂ ilişkisi incelendiğinde ise sinerjik bir etkinin meydana geldiği tespit edilmiştir. Pigmente dayalı olarak hesaplanan fitoplankton boy grupları arasında bölgede genel anlamda mikrofıtoplankton (%9-93) baskın bir yapı sergilerken, bunu nanofıtoplankton (%1-77) ve pikofıtoplankton (%3-75) takip etmiştir. Mikroskobik hücre sayımları sonucunda istasyonlarda toplam 122 adet fitoplankton türü tespit edilmiştir. Tespit edilen türlerden 66'sını Dinophyceae türleri, 50'sini Bacillariophyceae türleri ve 6'sını diğer taksonomik gruplar oluşturmuştur. Bu çalışma ile besin zincirinin temelini oluşturan fitoplankton boy gruplarının öngörülen iklim senaryoları karşısında birincil üretim miktarlarının nasıl değişeceği belirlenmiş ve dünya denizleri içerisinde özel bir yeri olan Karadeniz ekosisteminin verimliliği hakkında ileriye dönük projeksiyonlar üretilmesine katkı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Fitoplankton, Birincil Üretim, CO₂ Zenginleştirmesi, İklim Değişikliği, Asidifikasyon, Karadeniz

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Aquaculture

Thesis Type : Master Thesis

Supervisor : Prof. Dr. Ertuğrul AĞIRBAŞ

Author : Melek YENER HELVACI

Year : 2024

Pages : 113

ABSTRACT

SEASONAL VARIATIONS OF PHYTOPLANKTON PRIMARY PRODUCTION UNDER DIFFERENT CO₂ CONCENTRATION CONDITIONS

In the present study, the effects of CO₂ enrichment (360 ppm, 600 ppm, 760 ppm) and temperature changes (ambient and above +3°C) on phytoplankton primary production and community structure were investigated for the first time in natural phytoplankton samples with seasonal incubation experiments between November 2021 and November 2023 in the south-eastern Black Sea ecosystem. In addition, size fractionated primary production (picophytoplankton, nanophytoplankton and microphytoplankton) was determined by C-14 incubation experiments. This revealed the contribution of different size classes to primary production on a seasonal scale, and how the rate of primary production varies with both phytoplankton biomass and changes in CO₂ and temperature. Seasonal samplings and incubation experiments were carried out at 2 different stations (coastal and offshore) at 10 m depth. During the project period, total primary production ranged from 41 to 8553 mgCm⁻²d⁻¹. In terms of phytoplankton size classes, microphytoplankton was the prominent group with the highest primary production (6-6410 mgCm⁻²d⁻¹), followed by nanophytoplankton (9-3552 mgCm⁻²d⁻¹) and picophytoplankton (1-946 mgCm⁻²d⁻¹). The experiments showed that the amount of primary production increased with increasing CO₂ concentration, and when the temperature-CO₂ relationship was examined, it was found that there was a synergistic effect on primary production rates. Among the phytoplankton size classes calculated based on pigment, microphytoplankton (9-93%) was dominant in the region, followed by nanophytoplankton (1-77%) and picophytoplankton (3-75%). Microscopic cell counts revealed a total of 122 phytoplankton species in the stations. Of the identified species, 66 were Dinophyceae species, 50 were Bacillariophyceae species and 6 were other taxonomic groups. The results of this study showed how the primary production rates of phytoplankton size classes, which form the basis of the food chain, will change in the face of projected climate scenarios and contributed to the production of future projections of the productivity of the Black Sea ecosystem, which has a special place in the world's oceans.

Keywords: Phytoplankton, Primary Production, CO₂ Enrichment, Climate Change, Acidification, Black Sea.

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. İstasyonlara ait koordinatlar ve istasyon derinlikleri	15
Tablo 2. Mevsimlere Ait CTD profilleri	40
Tablo 3. Fitoplankton Toplam Birincil Üretim Miktarları	49
Tablo 4. Örnekleme döneminde belirlenen fitoplankton türlerinin mevsimlere göre dağılımı	68
Tablo 5. Karadeniz’de yapılan deniz suyu yüzey sıcaklığı çalışmalarının karşılaştırılması	85
Tablo 6. Karadeniz’de yapılan tuzluluk çalışmalarının karşılaştırılması	87
Tablo 7. Karadeniz’de yürütülen klorofil-a çalışmaları	89
Tablo 8. Karadeniz’de yapılan Nitrit ve Nitrat (μM) çalışmalarının karşılaştırılması	96
Tablo 9. Karadeniz’de yapılan Fosfat Değerleri (μM) çalışmalarının karşılaştırılması	97
Tablo 10. Karadeniz’de yürütülen silikat çalışmaları	99

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. CO ₂ emisyonu (A), deniz suyu yüzey sıcaklık anomalisi (B) ve pH'ın (C) uzun dönemli değişimi (Brierley ve Kingsford, 2009).	4
Şekil 2. Çalışma bölgesi ve örnekleme istasyonları (kıyı istasyonu 2 Nm ve açık deniz istasyonu 20 Nm)	13
Şekil 3. R/V KARADENİZ ARAŞTIRMA gemisi	14
Şekil 4. SBE 19 CTD prob	14
Şekil 5. Çoklu su örnekleme (SBE 32 Carousel)	15
Şekil 6. Çoklu su örnekleme (SBE 32 Carousel)	15
Şekil 7. Li-Cor sualtili PAR Equipment (Li-193 SA Spherical Quantum Sensor, Li-1400 data logger, Li-190SAT su üstü Quantum Sensor ölçümlerini bilgisayara aktarma işlemi).....	16
Şekil 8. CO ₂ zenginleştirme, aklimasyon ve inkübasyon aşamaları.....	18
Şekil 9. CO ₂ zenginleştirme, aklimasyon ve inkübasyon aşamaları.....	19
Şekil 10. Deneyler öncesi deniz suyu örneklerinin 200 µm'lik plankton ağından süzülmesi aşaması.....	20
Şekil 11. CO ₂ zenginleştirme, aklimasyon ve inkübasyon hazırlık aşamaları	20
Şekil 12. Deneylerde kullanılan farklı göz açıklığındaki filtreler	26
Şekil 13. İnkübasyon sonrası örneklerin farklı göz açıklığındaki filtrelerden süzülmesi aşaması.....	26
Şekil 14. Analiz öncesi örneklerin derişik formaldehit ve konsantre HCL buharına tabi tutulması aşaması.....	27
Şekil 15. Analiz öncesinde viallere sentilasyon kokteyli ekleme aşaması.....	28
Şekil 16. LSC viallerinin analiz öncesi hazırlık aşaması.....	28
Şekil 17. Örneklerin LSC cihazında analiz aşaması.....	29
Şekil 18. Kıyı istasyonuna (2 deniz mili) ait sıcaklık profili.....	33

Şekil 19. Açık istasyona (20 deniz mili) ait sıcaklık profili	34
Şekil 20. Kıyı istasyonuna (2 deniz mili) ait tuzluluk profili	35
Şekil 21. Açık istasyona (20 deniz mili) ait tuzluluk profili	36
Şekil 22. Kıyı istasyonuna (2 deniz mili) ait pH profili	37
Şekil 23. Açık istasyona (20 deniz mili) ait pH profili.....	38
Şekil 24. Kıyı istasyonuna (2 deniz mili) ait klorofil-a profili	39
Şekil 25. Açık istasyona (20 deniz mili) ait klorofil-a profili	40
Şekil 26. Kıyı istasyonu 360 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	43
Şekil 27. Kıyı istasyonu 360 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi ..	43
Şekil 28. Açık istasyon 360 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	44
Şekil 29. Açık istasyon 360 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi ..	44
Şekil 30. Kıyı istasyonu 600 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	45
Şekil 31. Kıyı istasyonu 600 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi ..	45
Şekil 32. Açık istasyon 600 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	46
Şekil 33. Açık istasyon 600 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi ..	46
Şekil 34. Kıyı istasyonu 760 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	47
Şekil 35. Kıyı istasyonu 760 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi ..	47

Şekil 36. Açık istasyon 760 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	48
Şekil 37. Açık istasyon 760 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi ..	48
Şekil 38. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait pH miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	50
Şekil 39. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait pH miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	50
Şekil 40. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait pH miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	51
Şekil 41. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait tuzluluk miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	51
Şekil 42. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait tuzluluk miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	52
Şekil 43. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait tuzluluk miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	52
Şekil 44. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait alkalinite miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	53
Şekil 45. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait alkalinite miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	54
Şekil 46. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait alkalinite miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	54
Şekil 47. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait klorofil-a miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	55
Şekil 48. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait klorofil-a miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	56
Şekil 49. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait klorofil-a miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	56

Şekil 50. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait CO ₂ miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	57
Şekil 51. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait CO ₂ miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	58
Şekil 52. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait CO ₂ miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi.....	58
Şekil 53. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait mikrofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	60
Şekil 54. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait mikrofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	61
Şekil 55. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait mikrofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	61
Şekil 56. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait nanofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	62
Şekil 57. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait nanofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	62
Şekil 58. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait nanofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	63
Şekil 59. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait pikofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	63
Şekil 60. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait pikofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	64
Şekil 61. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait pikofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi	64
Şekil 62. K1y1 istasyonu 360 ppm’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	74
Şekil 63. K1y1 istasyonu 360 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	75

Şekil 64. Açık istasyon 360 ppm’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	75
Şekil 65. Açık istasyon 360 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	76
Şekil 66. Kıyı istasyonu 600 ppm’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	76
Şekil 67. Kıyı istasyonu 600 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	77
Şekil 68. Açık istasyon 600 ppm’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	77
Şekil 69. Açık istasyon 600 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	78
Şekil 70. Kıyı istasyonu 760 ppm’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	78
Şekil 71. Kıyı istasyonu 760 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	79
Şekil 72. Açık istasyon 760 ppm’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	79
Şekil 73. Açık istasyon 760 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi	80

GİRİŞ

Denizel ekosistemlerin önemli bileşenlerinden biri olan fitoplankton toplulukları sahip oldukları fotosentetik kapasite ile yeryüzündeki birincil üretimin yaklaşık olarak %50'sini (Boyce vd., 2010; Falkowski vd., 2007) ve neredeyse denizel üretimin de tamamını oluşturmaktadır (Mackas, 2011). Aynı zamanda fotosentez mekanizması ile denizel ekosistemlerin toplam CO₂ konsantrasyonunu etkilemekte ve pH dengesinin sağlanmasında da önemli bir role sahiptirler (Takahashi vd., 2002). Fitoplanktonik gruplar fotosentez yoluyla antropojenik kaynaklı CO₂ salınımını 1/3 oranında azaltmaktadırlar (Sabine ve Feely, 2007). Sahip oldukları bu önemli rollerinden dolayı, fitoplankton biyokütlesinin ve tür kompozisyonunun tespit edilmesi pelajik ekosistemin dinamiklerinin ve yapısının anlaşılmasında oldukça önem arz etmektedir (Nair vd., 2008; Ediger vd., 2006; Jeffrey ve Vesk, 1997). Diğer taraftan fitoplanktonik gruplar bulunduğu ortamın trofik seviyesi hakkında bilgi verirken (Barlow vd., 2004), kommunité yapılarında ve grup oranlarında meydana gelen değişimler sonucu besin zinciri yoluyla pelajik ekosistemin verimliliğine doğrudan etki ederler ve bundan dolayı sistemin sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir (Nagata vd., 1996).

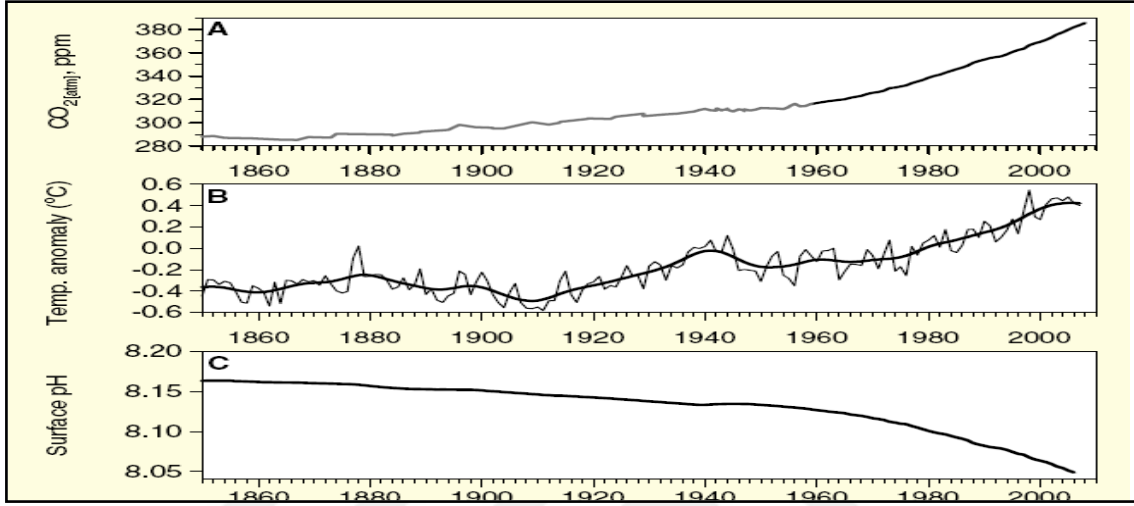
Fitoplankton, boy gruplarına göre 3 temel kategori altında değerlendirilmektedir (Aiken vd., 2009). Diatom ve dinoflagellatlardan oluşan mikrofıtoplankton (20-200 µm) denizel ortamdaki en büyük hücreli fitoplanktonu oluşturur. Mikrofıtoplanktonik gruplar genellikle nütrient bakımından zengin olan ortamlarda öne çıkan gruplar olup, yüksek fotosentez oranına, karbon biyokütlesine ve toplam klorofil-a içeriğine sahiptirler (Aiken vd., 2009, Maranon, 2009). Bu gruplardan diatomlar, küresel karbon fiksasyonunun %20'sinden sorumlu olup (Nelson vd., 1995), silikatın biyojeokimyasal döngüsüne de önemli miktarda katkıda bulunurlar (Falciatore vd., 2000). Dimetil Sülfıt (DMS) üretiminden sorumlu olan dinoflagellatlar atmosfere bulut ve aerosol benzeri bileşenler saldıklarından yeryüzünün ısı ve güneş radyasyonu bütçesini etkilerken (Charlson vd., 1987), oluşturdukları toksinlerle de insan sağlığını etkileyebilmekte ve zararlı alg patlamalarına neden olmaktadır (Milli vd., 1997). Nanofıtoplankton (2-20 µm) genellikle inorganik besin elementlerinin ve madde döngüsünden gelen ilave inorganik

besin elementlerinin bulunduğu ortamlarda bol miktarda bulunur. Bu grup üyeleri genellikle orta derecede fotosentez oranı, karbon biyokütlesi ve toplam klorofil-a içeriğine sahiptirler (Aiken vd., 2009; Maranon, 2009). Primnesiofitler, krizofitler ve kriptofitler nanofitoplankton içerisinde yer alan gruplardan bazılarıdır. Kokkolitofor *Emiliana huxleyi*, okyanusların birçok bölgesinde, yüksek enlemlerdeki ötrofik sulardan subtropik döngülere kadar okyanusların oligotrofik bölgelerinde geniş bir yayılım alanına sahiptir (Brown ve Yoder, 1994). Pikofitoplankton ise genellikle besin tuzlarının sınırlı olduğu ortamlarda bol miktarda bulunan 0,2-2 µm boy aralığındaki fitoplanktonik grupları kapsamaktadır. Büyük hücreli fitoplanktonik grupların aksine daha düşük fotosentez oranı, karbon biyokütlesi ve toplam klorofil-a içeriğine sahiptirler (Aiken vd., 2009; Maranon, 2009). Pikofitoplankton içerisinde siyanobakteriler (*Prochlorococcus* ve *Synechococcus*) ve piko-ökaryotlar yer almaktadır (Zubkov vd., 2000).

1. GENEL BİLGİLER

Sanayi devriminden sonra atmosferik CO₂ konsantrasyonu yaklaşık %33 oranında artmış ve yıllık %0,4'lük bir oranla artmaya devam etmektedir (Alley vd., 2007; Raven vd., 2005; Wolf-gladrow vd., 1999). Sanayi devriminden önce 280 ppm seviyelerinde olan CO₂ konsantrasyonu 370 ppm'e kadar ulaşırken (Şekil 1) ve iklim senaryolarına göre önümüzdeki 100 yıl içerisinde CO₂ konsantrasyonunun 700 ppm'e kadar yükseleceği tahmin edilmektedir (Houghton, 2001). Artan atmosferik CO₂ konsantrasyonu okyanus ve denizlerin yüzey tabakalarında karbon kimyasını doğrudan etkilerken son 250 yıl içerisinde deniz suyunun pH'sının 8,21'den 8,10'a kadar düşmesine yol açmıştır (Şekil 1). Deniz suyu yüzey pH değeri, sanayi devriminin başlangıcından bu yana 0,1 birim azalmış ve yüzyılın sonuna kadar 0,3-0,6 birim ve bikarbonat iyonu (HCO₃) konsantrasyonunun %50 oranında azalacağı öngörülmektedir (Orr, 2011; Doney vd., 2009; Riebesell vd., 2007; Orr vd., 2005). Antropojenik CO₂ salınımının yaklaşık %25'i okyanuslar tarafından absorbe edilirken okyanusların karbon yapısında önemli değişimlere neden olabilmektedir (Le Que're vd., 2013). Bu değişim genellikle "okyanus asitlenmesi (OA)" veya "asidifikasyon" olarak adlandırılır. Asidifikasyona bağlı olarak fitoplankton komünite yapısında ve biyokütlesinde önemli değişimler meydana gelirken ortamın biyojeokimyasal yapısının da değişmesine yol açmaktadır (Boyd ve Doney, 2002). Diğer taraftan atmosferik CO₂'in kısmi basınç (pCO₂) artışında antropojenik kaynaklı karbondioksit (CO₂) salınımlarının büyük bir rolü bulunmaktadır. Bu yüzyılın sonunda CO₂ salınımlarındaki artışa bağlı olarak deniz suyu yüzey sıcaklığının (SST) 2-4°C arasında artacağı tahmin edilmektedir (IPCC, 2013). SST'deki artış beraberinde termal tabakalaşmayı ve yüzey karışım tabakasının kalınlığını, ışık geçirgenliğini ve nütrient dinamiğini etkileyeceğinden doğrudan fitoplankton topluluklarının yapısını ve fizyolojisini de etkilemektedir (Rost vd., 2008; Sarmiento vd., 2004). Fitoplankton tür kompozisyonuna ve fizyolojik gereksinimlerine bağlı olarak değişebilen fitoplankton metabolik aktivitesi (Eppley, 1972) artan SST ile daha da hızlanabilir (Beardall vd., 2009). Uzun dönemli veri setleri, kıyasal fitoplankton topluluklarının yapısında görülen değişikliklerin iklimsel değişim ve diğer antropojenik etkilerden kaynaklandığını göstermektedir (Edwards vd., 2006; Smetacek ve Cloern, 2008; Widdicombe vd., 2010). Asidifikasyon ve SST artışına bağlı olarak fitoplankton tür

kompozisyonu, biyokütlesi, birincil üretim miktarları ve foto-fizyolojisi potansiyel olarak değişebilir. Bu iki faktörün fitoplankton toplulukları üzerinde nasıl bir etki (sinerjik veya antagonist olarak) yapacağını belirlemek değişen iklim koşulları altında denizel ekosistemlerin geleceği için kritik öneme sahiptir (Boyd ve Doney, 2002).



Şekil 1. CO₂ emisyonu (A), deniz suyu yüzey sıcaklık anomali (B) ve pH'nın (C) uzun dönemli değişimi (Brierley ve Kingsford, 2009).

Birçok denizel bitki ve alg türünde CO₂ fiksasyonu için önemli bir enzim olan RuBisCO genellikle ortamın CO₂ konsantrasyonu tarafından sınırlandırılır. Bundan dolayı sucul ortamdaki CO₂ artışı fotosentezi ve büyümeyi artırabilir (Riebesell vd., 2007). Bununla birlikte deneysel çalışmalar yüksek CO₂ konsantrasyonlarının fotosentez üzerine olumsuz etki yaptığını veya inhibe ettiğini de göstermiştir (Riebesell ve Tortell, 2011). Bu farklılıklar türlere özgü olan karbon konsantrasyon mekanizmalarından (CCM) kaynaklanabilmektedir (Giordano vd., 2005). Bu mekanizma bazı türlerin artan CO₂'i daha etkin bir şekilde kullanmasına imkân tanırken diğerlerinin olumsuz yönde etkilenmesine yol açabilmekte ve nihayetinde kommunité yapısının değişmesine neden olmaktadır. Fitoplankton grupları farklı formlardaki çözünmüş inorganik karbona (DIC) karşı farklı tercihlere sahiptirler, bazı formlar doğrudan CO₂'i kullanırken bazıları ise karbon kaynağı olarak HCO₃⁻'i tercih ederler (Elzenga vd., 2000). CO₂'e karşı olan bu duyarlılık sucul ortamdaki HCO₃⁻:CO₂ oranının değişmesine yol açarken fitoplanktonik grupların karbonu asimile etme etkinliğini de etkiler (Nimer ve Merrett, 1996). Örneğin mevsimsel pH değişimlerinin

taksonomik olarak tür kompozisyonunda herhangi bir değişikliğe neden olmadığı ancak hücrelerde küçülmeye veya daha büyük hücreli fitoplanktonun baskın hale gelmesine neden olduğu rapor edilmiştir (Yoshimura vd., 2010; Tortell vd., 2002). Kommünite yapısında meydana gelen değişimler beraberinde trofik seviyeler arasındaki enerji aktarımı gibi ekolojik süreçler ve biyo-jeokimyasal döngüler önemli oranda etkilenecek sistemin verimliliğini belirlemektedir (Riebesell vd., 2007). Doğal popülasyonlarda, artan CO₂ konsantrasyonu, pikofitoplankton ve nanofitoplankton topluluklarında büyümeyi artırırken (Engel vd., 2008), artan sıcaklık bu grupların biyokütlesini azaltmaktadır (Moustaka-Gouni vd., 2016). Diğer taraftan doğal popülasyonlarda sıcaklık artışı (+3°C'den yüksek) kommünite biyokütlesini arttırırken yüksek sıcaklık ve artan CO₂ biyokütlede azalmaya (antagonist etkiye) neden olmaktadır (Gao vd., 2017).

Bütün denizlerde olduğu gibi Karadeniz'de de fitoplanktonun yapısal ve fonksiyonel karakteristikleri ekosistem ile yakından ilgilidir. Bu özellikleriyle fitoplanktonik organizmalar ekosistemin içinde bulunduğu durumu tanımlamak için indikatör olarak kullanılabilmektedir (Yunev vd., 2002). Karadeniz'de ışıklı (öfotik) bölgede yıl boyunca iki belirgin fitoplankton patlaması dikkat çekmektedir. Bunlar diatomların neden olduğu ilkbahar bloomu ve kokkolitoforid *Emiliania huxleyii* ve dinoflagellat ağırlıklı sonbahar bloomudur (Honjo vd., 1987). Son zamanlarda ise bunlara ek olarak gerek kıyısız ve gerekse açık deniz ortamında gözlenen yaz bloomları da eklenmiştir (Hay vd., 1990; Sur vd., 1996). Son dönemlerde yürütülen çalışmalar Karadeniz planktonunda fenolojik değişimlerin olduğunu ve alışlagelmiş bloom zamanlarının ve kommünite yapısının değiştiğini göstermektedir (Mikaelyan vd., 2017). Karadeniz gibi yarı kapalı sistemler açık denizlere oranla yapılarında meydana gelen fiziksel ve biyolojik değişimlere karşı daha hassastırlar. Örneğin, Baltık Deniz'inin akıntı sistemlerindeki değişimlere (Matthäus ve Frank, 1992; Matthäus, 2006) ve doğu Akdeniz'deki sıcaklıktaki artış gibi değişen çevresel koşullara karşı Atlantik Okyanusu'ndan daha hassas olduğu rapor edilmiştir (Danovaro vd., 2001; Oğuz vd., 2006). Diğer taraftan, uzun dönemli pH ölçümleri Karadeniz'in yüzey tabakasında (10 m) 1960'lardan sonra ve özellikle 1980-2000'li yıllar arasında asidifikasyonun etkili olduğunu ortaya koymuştur (Polonsky, 2012). Dolayısıyla dünya denizleri içerisinde çok özel bir yeri olan Karadeniz için CO₂ ve sıcaklık

artışının fitoplankton birincil üretimi üzerine olan etkisini anlamak ve asidifikasyona bağlı karbon döngüsündeki olası değişimin anlaşılması değişen iklim koşulları altında büyük önem taşımaktadır.

1.2. Birincil Üretim ve Ölçüm Teknikleri

Birincil üretim genel anlamda fotosentez sonucu oluşan birim organik karbon için tutulan inorganik karbon miktarı olarak tanımlanır (Kaiser vd., 2005). Denizel canlılığın devam etmesi karbon döngüsü ve organik madde üretimine bağlıdır. Birincil üretim, fotosentez hızına ve fitoplankton gelişimi için gerekli olan besin tuzlarının miktarındaki değişime bağlı olarak tahmin edilebilir. Karbondioksit, su, makro ve mikro besin elementleri gibi inorganik bileşiklerden organik maddelerin meydana gelmesi olarak da tanımlanan birincil üretimde temel proses karbondioksinin indirgenmesine dayanır. Algler tarafından meydana getirilen organik üretim; CO₂'in alınımı, farklı zamanlarda yapılan biyokütle ölçümleri ve üretilen çözünmüş oksijen miktarı ve tüketilen besin maddelerinin miktarının ölçülmesi şeklinde temel hesaplamalarla belirlenebilmektedir (Gargas, 1975).

1.1. Dolaylı (İndirekt) Yöntemler

Denizel oramdaki toplam bitkisel materyalin bulunması esasına dayanır. Düzenli bir şekilde yapılan biomass ölçümleri, besin tuzlarının konsantrasyonu, ekosisteme giren ve çıkan değerlerin kontrolü, fitoplankton büyümesi gibi parametreler verimliliğin belirlenmesinde önemlidir.

1.1.1. Besleyici Tuzlardan Yararlanılarak Yapılan Ölçüm

Organik madde oluşumu için gerekli olan bir mineral tuzunun ortamdan azalışından gidilerek fitoplankton üretimini hesaplamak mümkün olabilir. Bunun için üç şartın oluşması gerekir; Mineral tuzun dışarıya ile değişimi kontrollü olmalıdır, bu maddenin ortama tekrar dönüşümü olmamalıdır ve organik bileşiklerin absorpsiyonu ihmal edilebilecek düzeyde olmalıdır. Ancak bu şartların denetlenmesi oldukça güçtür. Genel olarak ılıman bölgelerde nitrat ve fosfatın yüzey sularındaki konsantrasyonları, fotosentezin minimum olduğu ve kış karışımlarının olduğu periyotta maksimuma

ulaşır. Besleyici tuzların fitoplanktonca alındığı ilkbahar ve yaz döneminde ise besin elementi konsantrasyonları hızla düşer.

1.1.2. CO₂ Değişimlerinden Yararlanılarak Yapılan Ölçüm

İlk kez 1920 yılında Manş Denizi'nde kullanılan bu yöntemde fotosentez esnasındaki CO₂ değişimleri izlenir. Bu ölçümlerde sadece fotosentez ölçülmemekte, fito ve zooplanktonun solunumları sonuçları etkilemektedir.

$$\text{Net Birincil Üretim} = P_g - P_r - R_z \quad (1)$$

P_g: Brüt birincil üretim

P_r: Fitoplanktonun solunumda harcadığı O₂

R_z: Zooplanktonun solunumda harcadığı O₂

1.2. Doğrudan (Direkt) Yöntemler

Bu yöntemler gündüz çok kısa sürelerde yapılabilir ve kesin sonuç veren yöntemlerdir.

1.2.1. Oksijen Yöntemi

Winkler yöntemi ile sudaki çözünmüş oksijen miktarı tayin edilir. Bu yöntem aydınlık-karanlık şişe teknikleri ile üretim hızlarının ölçülmesi esasına dayanır. Deniz suyu örneği 300 ml'lik şişelere alınır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu ölçüldükten sonra örnekler alındıkları derinliğe tekrar indirilir. Şişelerden birincisi saydamdır. Diğerleri ışık almayacak şekilde izole edilir. 24–48 saat sonra her iki şişedeki çözünmüş oksijen miktarı tekrar ölçülür. Işık alabilen şişedeki oksijen miktarı bu şişedeki fitoplanktonun asimile ettiği karbonun bir ölçüsü olarak yorumlanır.

Oksijenin bir kısmının solunumla kayba uğradığı varsayılır. Yani ölçülen değer net fotosentezi gösterir (P_n). Karanlık şişedeki oksijen azalması ise fitoplankton tarafından solunumla harcanan oksijen olarak kabul edilir (P_r). Bu iki değer toplamı toplam karbon asimilasyonuna eşittir. Yani brüt fotosentezdir (P_g).

P_n: Net fotosentez

P_r: Solunumda harcanan O₂

R_b: Bakterilerin solunumda harcadığı O₂

R_z: Zooplanktonun solunumda harcadığı O₂

Elde edilen sonuçlar genellikle C'a çevrilir, 1 ml O₂=1.44 mgO₂=0.54 mgC'a eşittir. Fotosentetik aktivite yeteri kadar yüksek ise sonuçlar tatmin edici olup, brüt fotosentez hakkında tahmini bir bilgi vermektedir ve prodüktivitenin az olduğu sularda uygun değildir.

Oksijen yöntemiyle bazen birincil üretimi saptamak çok zordur. Eğer organik üretim düşük ve oksijen üretimi ile tüketimi arasındaki fark az ise oksijen metoduyla birincil üretimin ölçümü mümkün değildir. Ayrıca bakteri solunumu, elde edilecek sonuçları etkileyebilmektedir. Metodun bir başka sakıncası da şişedeki hareketsiz ortamın hareket halindeki doğal ortamları yeterince yansıtmaması ve yapay olarak gerçekleştirilen karanlık ortamın bir kısım fitoplanktonun ölümüne neden olmasıdır.

1.2.2. Klorofil-a Metodu

Fotosentez klorofile bağlı olduğundan deniz suyu örneğinin klorofil içeriği onun potansiyel fotosentetik indeksi olarak kabul edilebilir. Deniz suyunun klorofil içeriği kolayca ölçülebildiği için birincil üretimin tahmininde kullanılmaktadır. Ryther ve Yentsch (1957) tarafından geliştirilen bu metod birincil üretimin hesaplanması için geliştirilmiş olmakla beraber daha çok biyomas hesaplanmasında kullanılır (Fogg, 1975). Bu metotta fotosentez oranı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır;

$$P=(R/k)*C*3,7 \quad (2)$$

P= Brüt birincil üretim (g. C. m⁻² .gün⁻¹)

R= Nispi fotosentez (m⁻² .gün⁻¹)

k= Işık sönüm katsayısı

C= Klorofil-a miktarı (g.m⁻³)

R, değeri güneş enerjisinin bir fonksiyonu olarak elde edilir.

Işık sönüm katsayısı, k= 1,7/ S. D. (m) eşitliğinden hesaplanır.

1.2.3. Karbon 14 (C-14) Yöntemi

Birincil üretim üzerindeki araştırmalar Steemann, Nielsen (1951, 1952) tarafından radyoaktif C-14'ün kullanılmasıyla yeni boyutlar kazanarak daha da hızlanmıştır. Daha sonraları ise yöntemin detayları değişik araştırmacılar tarafından (Vollenweider, 1974) tanımlanmış ve Gargas (1975) tarafından metod geliştirilmiştir. Bu yöntemde, örnek deniz suyuna sodyum bikarbonat (NaH¹⁴CO₃) formunda miktarı

belirli $^{14}\text{CO}_2$ ilave edilir. Belirli bir ışıklandırma süresinden sonra örnek içerisindeki plankton filtre kâğıdı ile toplanır ve sintilasyon sayaçla radyoaktivitesi ölçülür. Şayet ortamın karbon mineral konsantrasyonu bilinirse fitoplankton tarafından oluşturulan organik karbon miktarı diğer bir ifadeyle birincil üretim miktarı hesaplanabilir. Birincil üretimi belirlemeye yönelik yapılacak çalışmalarda, örnekleme zamanı ile örneğin bekleme süresi ve çalışılan türün fotosentetik aktivitesi gibi değişkenler göz önünde bulundurulmalıdır. Organik madde üretimi denizlerde aydınlanma oranı, CO_2 konsantrasyonu, nütrient miktarı ve fitoplankton yoğunluğuna bağlı olarak değişir (Fogg, 1975; Miller, 2004; Kaiser vd., 6 2005). Bir isotop olan radyoaktif C-14'ün iki avantajı vardır; Enerji seviyesi çok düşük radyasyon verdiği için korunma sorunları yaratmaz ve çok uzun ömürlü (5730 yıl) olduğu için uzun süreli stoklanabilir.

$$P = b / (a \cdot c) \quad (3)$$

a= sodyum bikarbonat aktivitesi C -14 ilave edilir.

b=İnkübasyon sonrası fitoplankton radyoaktivitesi

c= Ortamın karbon konsantrasyonu

C-14 yöntemi iyi uygulandığında $\pm 5\%$ hassasiyetle kullanılabilir. Bu şekilde hassasiyet oksijen metoduna göre 50–100 misli daha fazladır.

1.2.4. Azot 15 (N 15) Yöntemi

Organik madde üretiminin ölçümü, karbonun dışında diğer elementlerin ölçümü ile de yapılabilir. Bu yöntem C-14'e çok benzemekle birlikte bazı sorunları da bulunmaktadır. Çok fazla miktarda su kullanılmakta ve spektrografta ölçümler için organik azotu gaz azota dönüştürmek gerekmektedir. Diğer taraftan CO_2 'in aksine mineral azot denizde sınırlayıcı bir element olup ilave edilen miktar doğal oranın $\% 10'$ unu geçmemelidir.

1.2.5. Diğer Yöntemler

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 $20 \mu\text{m}'$ den küçük duyarlılıkta floresans ölçme özelliğine sahiptir. Benzer şekilde FRRF (Fast Repetition Rate Fluorimeters) fotosentez hızını ve buna bağlı olarak birincil üretimi hesaplama

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 7 çözünürlük çok yüksek olmasına rağmen uzaktan algılayıcı sensörün sadece su yüzeyinin birkaç metre yüzeyinden aşağısını ölçebilmesi sınırlayıcı faktördür.

1.3. Çalışmanın Önemi ve Önceki Çalışmalar

Yarı kapalı ve izole bir sistem olan Karadeniz, son 40-50 yılda ciddi ekolojik değişimlere maruz kalmıştır. Yoğun nütrient ve kirletici girdisi, istilacı türlerin artışı (örneğin *Mnemiopsis leidyi*), aşırı avcılık ve iklim değişikliği gibi faktörler bu değişime neden olan ana faktörlerden bazılarıdır. Bununla birlikte Karadeniz’de fitoplanktonik yapının özellikle de ana grup oranlarının (diatom/dinoflagellat) değiştiği ve daha küçük boy gruplarının (örneğin pikofitoplankton) önemli oranda arttığı birçok araştırma grubu tarafından rapor edilmiştir. Bu değişim, Karadeniz gibi verimliliği büyük ölçüde pelajik sisteme bağlı olan denizlerde son derece önemli sonuçlara sebep olabilmektedir. Fitoplankton (özellikle mikrofıtoplankton 20-200 µm) başta küçük pelajik balıklar (hamsi, istavrit vb.) olmak üzere birçok balığın doğrudan veya dolaylı olarak temel besin kaynağı durumundadır. Güney Doğu Karadeniz ise Türkiye balıkçılığında yaklaşık olarak %50-60’lık bir paya sahip olmasıyla daha da ön plana çıkmaktadır. Ülkemiz balıkçılığı açısından son derece önemli bir deniz olan Karadeniz ekosisteminde fitoplanktonik grupların ve oranlarının sürekli olarak izlenmesi ve değişen iklim koşulları altında mevcut durumlarının kapsamlı bir şekilde ortaya konulması, iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması ve adaptasyon noktasında alınacak tedbirler için oluşturulacak yol haritasının belirlenmesinde önemli bir unsurdur.

Önerilen bu çalışma ile değişen iklim koşulları altında ve balıkçılık açısından son derece önemli olan Güney Doğu Karadeniz ekosisteminde (2 ve 20 deniz mili mesafesinde) doğal fitoplankton örnekleri kullanılarak mevsimsel olarak yürütülecek inkübasyon deneyleri ile CO₂ zenginleştirmesinin ve farklı sıcaklık koşullarının (ortam sıcaklığı ve ortam sıcaklığının +3°C üstü) fitoplankton birincil üretimi ve kommünite yapısı üzerine olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, gerçekleştirilecek

olan C-14 inkübasyon deneyleri ile fitoplankton boy gruplarına (pikofitoplankton, nanofitoplankton ve mikrofitoplankton) ait birincil üretim miktarları belirlenecektir. Böylelikle farklı boy gruplarının mevsimsel ölçekte birincil üretime yaptıkları katkı ile birlikte gerek fitoplankton canlı kütlesi ile gerekse CO₂ zenginleştirmesine ve sıcaklık artışına bağlı olarak birincil üretim miktarlarının nasıl değişeceği de ortaya konulabilecektir.

Önerilen bu çalışmanın temel hedefleri şunlardır;

- 1) Yüksek CO₂ rejimi altında fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının nasıl değişeceğini belirlemek,
 - 2) Yüksek CO₂ rejimi altında fitoplankton kommunité yapısındaki değişimleri tespit etmek,
 - 3) Yüksek sıcaklık koşulları altında fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının nasıl değişeceğini belirlemek.
 - 4) Yüksek sıcaklık koşulları altında fitoplankton kommunité yapısındaki değişimleri tespit etmek,
 - 5) Kıyı ve açık deniz ekosistemlerinin birincil üretime olan katkısını belirlemek,
 - 6) Kıyı ve açık deniz ekosistemlerinin fitoplankton kommunité yapısını belirlemek,
 - 7) Mevsimsel olarak yapılacak inkübasyonlar ile yüksek CO₂+sıcaklık koşullarının birincil üretim miktarları ve fitoplankton kommunité yapısı üzerindeki ortak etkisini (sinerjik veya antagonist) belirlemek.
 - 8) Değişen iklim koşulları altında Karadeniz ekosisteminin sürdürülebilir yönetimine ve iklim değişikliğine uyum çabalarına katkı sağlamak.
- Ülkemizde bu çalışmaya benzer bir çalışma daha önce yapılmamıştır. İlk yapılan çalışma açısından önemlidir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Sahası

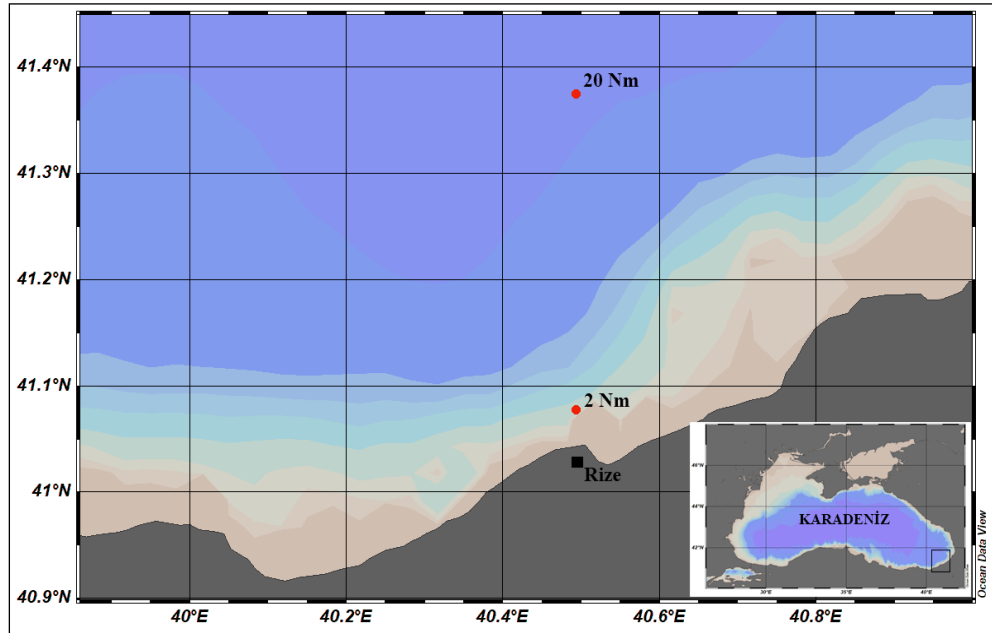
Çalışma, Güney Doğu Karadeniz ekosisteminde seçilen farklı karakterlerdeki iki istasyonda (2 ve 20 deniz mili; Nautical mile, Nm; 2 Nm= 41,0773 K-40,4942 D ve 20 Nm=41,3747 K-40,4942 D) mevsimsel dönemler halinde yürütülmüştür (Şekil 2). İstasyonlardan ilki antropojenik etkiye ve balıkçılık faaliyetlerine daha çok maruz kalan ve kıyısız bölgeyi temsil edecek şekilde 2 Nm olarak seçilirken bir diğeri ise açık deniz bölgesini temsil edecek şekilde 20 Nm mesafesinde belirlenmiştir. İstasyonların bu şekilde belirlenmesinin temel nedeni bölgede uzun yıllardır yapılan saha çalışmaları neticesinde yatay yönde çok kuvvetli olan akıntıların aynı hat üzerinde benzer karakterde su kütlelerinin oluşmasına yol açtığı ancak kuzey-güney yönünde ise önemli farklılıklara neden olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan Karadeniz’de hâkim olan siklonik sırt akıntısı (Rim Current) kıyı ve açık bölge arasında önemli farklılıkların oluşmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda proje yürütücüsü tarafından 2014-2017 yılları arasında Hopa-Tirebolu arasında yürütülen ve başarıyla tamamlanan 113Y189 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında birincil üretim miktarları açısından bölgede yatay yönde (2 Nm, kıyı boyu) önemli farklılıklar gözlenmezken, açığa doğru (8 ve 15 Nm) gidildikçe istasyonlar arasında önemli farklılıklar tespit edilmiştir. Dolayısıyla kıyı ve açıkta belirlenmiş olan bu iki istasyonun projenin temel hedefleri arasında yer alan kıyı ve açık deniz ekosistemlerinin karşılaştırılmasına katkı sağlamış olacaktır.

Saha çalışmalarında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi bünyesinde bulunan “R/V KARADENİZ ARAŞTIRMA” isimli araştırma gemisi (Şekil 3) kullanılmış ve istasyonlara ait CTD ve klorofil-a yerinde (*in-situ*) ölçülmüştür (Şekil 4). Besin elementleri, fitoplankton bolluğu, birincil üretim (radyoaktif C14) deneyleri ve CO₂ zenginleştirme deneyleri için gerekli olan deniz suyu örnekleri SBE 32 Carousel 12 şişeli su örnekleme cihazı ile 10 m derinlikten örneklenmiştir (Şekil 5-6).

Örnekleme derinliğinin 10 m olarak seçilmesinin temel nedeni; yaklaşık 25-35 m derinliğe sahip olan Karadeniz ışıklı tabakası (öfotik) göz önünde bulundurularak

ve daha önceki yıllarda yürütölmüş olan projelerdeki gözlemlere/tecrübelere dayanarak ve fitoplanktonik yapıyı temsil edici örnek alabilmek adına seçilmiştir. Diğer taraftan çalışmanın ana hedeflerinden biri olan ve Karadeniz için ilk defa gerçekleştirilen CO₂ zenginleştirme deneylerinden dolayı bu derinlik tercih edilmiştir. Çünkü diğer atmosferik gazlara (örneğin azot, oksijen ve argon vb) oranla daha kararsız olan ve sudaki çözünürlüğü yüksek olan CO₂ serbest bir şekilde atmosfer-deniz arasında kolaylıkla geçiş yaptığından dinamik yapıda olan yüzey tabaka (<10 m) içerisinde konsantrasyonu sürekli olarak değişmektedir. Ayrıca, uzun dönemli pH ölçümleri (Polonsky, 2012) Karadeniz'in yüzey tabakasında (10 m) gerçekleştirildiği için mevcut çalışma kapsamında elde edilecek olan verilerin geçmiş yıllarla kıyaslanması da mümkün olabilecektir.

Çalışmanın ilk deniz çalışması, yaz seferi, 4-8 Temmuz 2022 tarihleri arasında belirlenen istasyonlarda (Şekil 2) başarıyla gerçekleştirilmiştir. Sonbahar örnekleme 28.11.2022-02.12.2022 tarihleri arasında, kış örnekleme 22-26 Şubat 2023 tarihleri arasında ve ilkbahar örnekleme 16-18 Mayıs 2023 tarihleri arasında belirlenen istasyonlarda başarıyla tamamlanmıştır.



Şekil 2. Çalışma bölgesi ve örnekleme istasyonları (kıyı istasyonu 2 Nm ve açık deniz istasyonu 20 Nm)



Şekil 3. R/V KARADENİZ ARAŞTIRMA gemisi



Şekil 4. SBE 19 CTD prob



Şekil 5. Çoklu su örnekleyici (SBE 32 Carousel)



Şekil 6. Çoklu su örnekleyici (SBE 32 Carousel)

Tablo 1. İstasyonlara ait koordinatlar ve istasyon derinlikleri

İstasyon Adı	Derinlik	Enlem	Boylam
Kıyı	650 m	41,0773 K	40,4942 D
Açık	1300 m	41,3747 K	40,4942 D

2.2. Fiziko-Kimyasal Ortam

İstasyonlar ait CTD ölçümleri SBE 19plus V2 SeaCAT Profiler CTD prob (SeaBird-Scientifi) ile *in-situ* olarak gerçekleştirilmiştir. İstasyonları karakterize etmek için *in-situ* klorofil-a ölçümleri CTD üzerinde bulunan WETLAB florometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstasyonlara ait PAR (PAR, 400 nm ile 700 nm spektral aralıkta olan ve fotosentez için kullanılan ışık olarak ifade edilmektedir, PAR derinliği teorik olarak yüzey radyasyonunun %1'e düştüğü derinlik olarak kabul edilir

ve bu bölge fotosentezin aktif olarak süregeldiği bölgedir) ölçümleri Li-Cor sualtı PAR Equipment (Li-193 SA Spherical Quantum Sensor, Li-1400 data logger, Li-190SAT su üstü Quantum Sensor yardımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7. Li-Cor sualtı PAR Equipment (Li-193 SA Spherical Quantum Sensor, Li-1400 data logger, Li-190SAT su üstü Quantum Sensor ölçümlerini bilgisayara aktarma işlemi

2.3. CO₂ Zenginleştirme Deneyleri

CO₂ zenginleştirme denemeleri için gerekli olan deniz suyu örneklemelerini, aklımasyonu ve inkübasyonu içermektedir. CO₂ zenginleştirme deneyleri temelde 3 farklı konsantrasyon (360 ppm, 600 ppm ve 760 ppm) üzerinden yürütülmüştür. İklim senaryolarına göre 2100 yılında deniz suyu sıcaklığının 2-4°C arasında değişeceği tahmin edilmektedir. Bundan dolayı mevcut CO₂ konsantrasyonlarına ilaveten sıcaklığın etkisini de belirlemek için denemelere mevsimsel sıcaklık ve ortam sıcaklığının +3°C üzeri olacak şekilde 3 deneme daha ilave edilmiştir. Denemeler toplamda 6 farklı seri halinde gerçekleştirilmiştir. Bunlar;

1. Kontrol grubu1 (360 ppm CO₂, ortam sıcaklığı),
2. Kontrol grubu 2 (360 ppm CO₂, ortam sıcaklığı +3°C),
3. Ara kademe 1 (600 ppm CO₂, ortam sıcaklığı),
4. Ara kademe 2 (600 ppm CO₂, ortam sıcaklığı +3°C),

5. Deneme grubu 1 (760 ppm CO₂, ortam sıcaklığı),

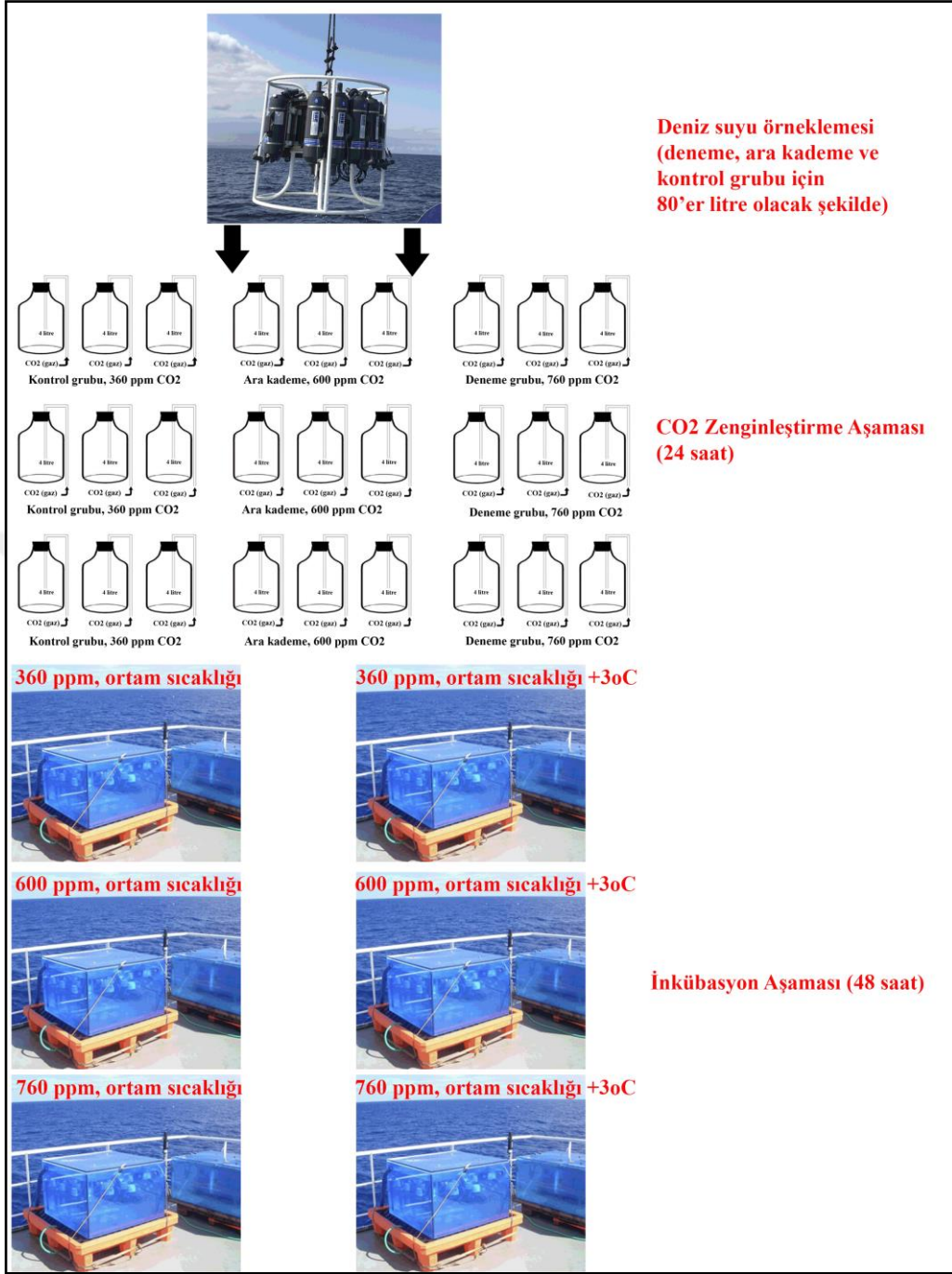
6. Deneme grubu 2 (760 ppm CO₂, ortam sıcaklığı +3°C).

Bu amaç doğrultusunda kontrol, ara kademe ve deneme grubu için 10 m derinlikten 80'er litre deniz suyu örneklenmiştir. Belirlenen istasyon ve derinliklerden yeterli miktarda örneklenen deniz suyu örnekleri denemelerin kurulması için uygun şekilde muhafaza edilerek limana getirilmiştir. Denemeler için kullanılacak deniz suyu örnekleri zenginleştirme aşamasından önce 200 µm göz açıklığındaki plankton ağından süzülerek ortamdaki mesozooplankterlerin uzaklaştırılması (grazing etkisini önlemek için) sağlanmıştır (Şekil 10).

Kıyı ve açık deniz istasyonlarından örneklenen doğal fitoplankton gruplarını içeren deniz suyu örnekleri 4'er litrelik 27 adet polikarbonat şişlere (önceden asitle yıkanarak temizlenmiş) üzerlerinde 0,5 litre boş kalacak şekilde doldurulacaktır. Bu şişlerden 9 tanesi önceden hazırlanmış 360 ppm CO₂'lik hava karışımı ile 9 tanesi 600 ppm CO₂'lik hava karışımı ile ve diğer 9 tanesi ise 760 ppm CO₂'lik hava karışımı ile havalandırılarak sırasıyla kontrol, ara kademe ve deneme grupları oluşturulmuştur. Ayrıca, sıcaklık kontrolü (+3°C) yapılacak denemeler için de aynı sayıda (27 adet) şişe farklı konsantrasyonlardaki CO₂ ile zenginleştirilmiştir. Farklı konsantrasyonlardaki (360 ppm, 600 ppm ve 720 ppm) CO₂-hava karışımı CO₂ gaz tüpleri yardımıyla deney öncesinde 16 saat süreyle inkübasyon düzeneklerine verilerek zenginleşmeleri sağlanmıştır. Böylelikle deney başlangıcından önce fitoplankton örneklerinin aklimasyon aşaması tamamlanmıştır. 16 saatlik zenginleştirme aşamasından sonra inkübasyonlara başlanmıştır. Deney başlangıcından 24 saat sonra tekrar 8 saatlik bir havalandırma daha yapıldıktan (ikinci aklimasyon) sonra 24 saatlik bir inkübasyon daha yapılarak denemeler (inkübasyon süresi toplamda 48 saat olacak şekilde) tamamlanmıştır. Inkübasyon, su devir-daimi olan inkübasyon sistemi ile limanda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, inkübasyon esnasında sıcaklık kontrolü istasyonlarda ölçülen ortam sıcaklığı ve +3°C üstü olacak şekilde RTEÜ Su Ürünleri Fakültesi bünyesinde bulunan portatif chiller yardımıyla sağlanmıştır. Denemeler esnasında inkübasyon kabinlerinin etrafına geçirilen mavi filtreler (Lee Filter no: 061) sayesinde örnekleme derinliğindeki (10 m) ışık yoğunluğu sağlanmıştır (Şekil 8-9).



Şekil 8. CO₂ zenginleştirme, aklımasyon ve inkübasyon aşamaları



Şekil 9. CO₂ zenginleştirme, aklımasyon ve inkübasyon aşamaları



Şekil 10. Deneyler öncesi deniz suyu örneklerinin 200 μm 'lik plankton ağından süzülmesi aşaması



Şekil 11. CO2 zenginleştirme, aklimasyon ve inkübasyon hazırlık aşamaları

2.4. Fitoplankton Komunit  Yapısı

Fitoplankton kommunit  yapısı mikroskopik hücre sayımı ile belirlenmiştir. Bu amaç doğrultusunda deneylerin başlangıcında (T0), T6 (6.saat), T12 (12.saat), T24 (24.saat) ve T48 (48.saat) olmak üzere deneme gruplarından 1 L olacak şekilde alt örneklemler yapılmıştır.

Koyu renkli polietilen şişelerle alınan 1 L deniz suyu  rneği düşük vakum basıncı altında (0,5 atm den daha az) 47 mm çaplı GF/F filtrelerden s z lm şt r. Daha sonra filtreler analiz edilene kadar dondurucuda (-80 C) muhafaza edilmiştir.



şekil 12. 47 mm çaplı GF/F filtrelerden s z lme işlemi

2.4.1. Fitoplankton  rneklelerinin Teşhisi

2.4.1.1. Mikrofitoplankton (diatom ve dinoflagellat) tür teşhisi

Alınan  rnekleler % 2'lik lugol solüsyonu ile fikse edilerek sayım aşamasına kadar bir hafta süre ile karanlık ortamda muhafaza edilecektir. Daha sonra örnek şişelerinin üstünden herhangi bir türbülansa neden olmadan 100 ml kalana kadar

sifonlama ile fazla su uzaklaştırılacaktır. Kahverengi 50 ml'lik cam şişelere aktarılan örnekler 4-5 gün bekletildikten sonra pipet yardımı ile üst kısmından aynı şekilde su uzaklaştırılarak 10 ml'ye kadar konsantre edilecektir. Konsantre edilen örnekten 1 ml alınarak Sedgewick-Rafter sayım kamerasında Leica DM4000B Epifloresan mikroskobu yardımıyla mikrop plankton teşhis ve sayımları gerçekleştirilecektir. 1 ml örnek üzerinden yapılan hücre sayımı son konsantrasyon hacmi ile çarpılarak litredeki fitoplankton hücre sayısı hesaplanacaktır (Drebes, 1974; Ramphi ve Bernhard, 1978; Spector, 1984; Balech, 1988; Fukuyo vd., 1990; Tomas, 1993, 1996).

2.4.1.2. Piko- ve Nanofitoplankton tür teşhisi

Her deneme grubundan alınacak olan 10 ml deniz suyu örneği düşük vakum altında 25 mm çaplı 0,2 µm göz açıklığına sahip siyah nukleopor membran filtrelerden süzülür. Hücrelerin filtreler üzerine eşit dağılımını sağlamak için yarı-ıslak millipore geri filtre (0,2 µm) kullanılır. Süzme işlemi tamamlandıktan sonra filtreler lam ve lamel arasına düşük floresan yansıtan immersiyon yağı ile fikse edilir (Knap vd., 1996). Mikroskop analiz aşamasına kadar örnekler -18°C'de muhafaza edilecektir.

Fotosentetik piko- ve nanofitoplankton sayımları Leica DM 5000 Epifloresan mikroskop kullanılarak farklı filtre bloklarında (B-2A (DM 505, EX 450-490, BA 520) ve G-1A (DM 575, EX 546/10, BA 580)) sayılacaktır. Pikofitoplankton (syanobakteri) hücreleri B-2A filtre bloğu (mavi) altında sarımsı-turuncu renkte görülürken, G-1A (yeşil filtre bloğu) altında ise parlak kırmızı-turuncu renkte floresan vermektedir. Bu şekilde iki filtre bloğu arasında geçişler yapılarak pikoplankton hücreleri tespit edilerek bollukları belirlenecektir. Benzer şekilde farklı filtre blokları kullanılarak nanofitoplankton sayımı gerçekleştirilecektir (Kopuz vd., 2012).



Şekil 13. 1 L lik polietilen şişelerde son konsantrasyonu % 4 olacak şekilde formaldehit fikse edilen fitoplankton örnekleri



Şekil 14. Çöken kısım konsantre edilerek 50 ml' e düşürülen örnekler



Şekil 15. Son konsantrasyon hacmi 7.5 ml kalan örneklerin 10ml lik viallere alınması

2.4. Birincil Üretim Deneyleri

Birincil üretim ölçümleri radyoaktif C-14 tekniği kullanılarak inkübasyon deneyleri ile gerçekleştirilmiştir. C-14 metodu olarak bilinen, Nielsen tarafından geliştirilen ve Gargas (1975)'ın bazı düzenlemeler yaptığı metot uygulanacaktır. Bu metotta su örneğine $\text{NaH}_2^{14}\text{CO}_3$ formundaki $^{14}\text{CO}_2$ ilave edilir. Burada fotosentez süresince organik madde içine $^{14}\text{CO}_2$ izleyici olarak kullanılır. Deney sonunda alg radyoaktivitesi ölçülür. Deney suyundaki (bilinen) CO_2 konsantrasyonu ve $^{14}\text{CO}_2$ konsantrasyonundan birincil üretim hesaplanır.

C-14 deneyleri farklı konsantrasyonlardaki CO_2 zenginleştirme denemelerinde kullanılan deniz suyu örnekleriyle yapılmış olup bu amaç için denemenin başlangıç (T0), T6 (6.saat), T12 (12.saat), T24 (24.saat) ve T48 (48.saat) anında olmak üzere 5 defa deney yapılmıştır. C-14 deneyleri için alınan deniz suyu örnekleri 50 ml'lik polikarbonat şişelere aktarıldıktan sonra üzerlerine 50 μL (2220000 dpm) radyoaktif $\text{NaH}_2^{14}\text{CO}_3$ ilave edilmiştir. C-14 ilave edilmiş örnekler farklı ışık yoğunluğunda (%100; %80,6; %60,4; %45; %34,9; %28,3; %23,8; %19,6; %11,7; %6,1; %1,1 ve %0) 2 saat süreyle inkübe edildikten sonra düşük basınç altında farklı göz açıklığındaki (0,2 μm , 2 μm ve 10 μm) polikarbonat filtrelerden süzölmüştür (Şekil 16-17). Süzme

işleminde sonra filtreler pensler yardımıyla özel kartuylara alınarak 2 dk süreli derişik formaldehit buharına tabi tutularak canlı yaşama son verilmiştir. Bu işlemden sonra örnekler 5 dk süre ile konsantre HCL buharına tabi tutularak kullanılmayan ancak filtre kağıdında kalan C-14 işaretli karbonatlar ortamdaki uzaklaştırılması sağlanmıştır (Şekil 11). Daha sonra örnekler sayım aşamasına kadar içinde silika jel bulunan desikatörde bekletilerek HCl'in fazlasının absorblanması sağlanmıştır. Analiz öncesi filtreler 5 ml sintilasyon kokteyli bulunan cam viallere (Şekil 18) alınarak likit sintilasyon sayacında (LSC, Perkin Elmer TriCarb 1550) dpm (disintegrations per minute) cinsinden karbon aktiviteleri belirlenmiştir (Şekil 21-22). Elde edilen karbon aktiviteleri uygun eşitlikler yardımıyla birincil üretim miktarlarının hesaplanmasında kullanılır.

Elde edilen sonuçlara göre birincil üretim miktarı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır;

$$Pt = \frac{\text{dpm(a)} \times \text{toplam CO}_2 \text{ (c)} \times 12\text{(d)} \times 1,05\text{(e)} \times 1,06\text{(f)} \times k_1 \times k_2 \times k_3}{\text{dpm(b)}}$$

Pt = Karbon kullanımı, mgC/m³/saat

(a) = Örnek (dpm) – karanlık (dpm) = net dpm

(b) = İlave edilen 14C standardındaki aktivite (dpm)

(c) = Deney suyundaki toplam CO₂ konsantrasyonu µM/L

(d) = 12: karbon atom ağırlığı, µM/L'i mg/L'e çevirir

(e) = C-14 için düzeltme faktörü

(f) = Deney süresince üretilen organik maddelerin solunum için tüketilen miktarı

(k1) = Alt örnekleme için düzeltme faktörü

(k2) = Zaman faktörü

(k3) = 10³ Birim dönüştürme faktörü, mgC/L'yi mgC/m³'e çevirir.



Şekil 16. Deneylerde kullanılan farklı göz açıklığındaki filtreler



Şekil 17. İnkübasyon sonrası örneklerin farklı göz açıklığındaki filtrelerden süzülmesi aşaması



Şekil 18. Analiz öncesi örneklerin derişik formaldehit ve konsantre HCL buharına tabi tutulması aşaması



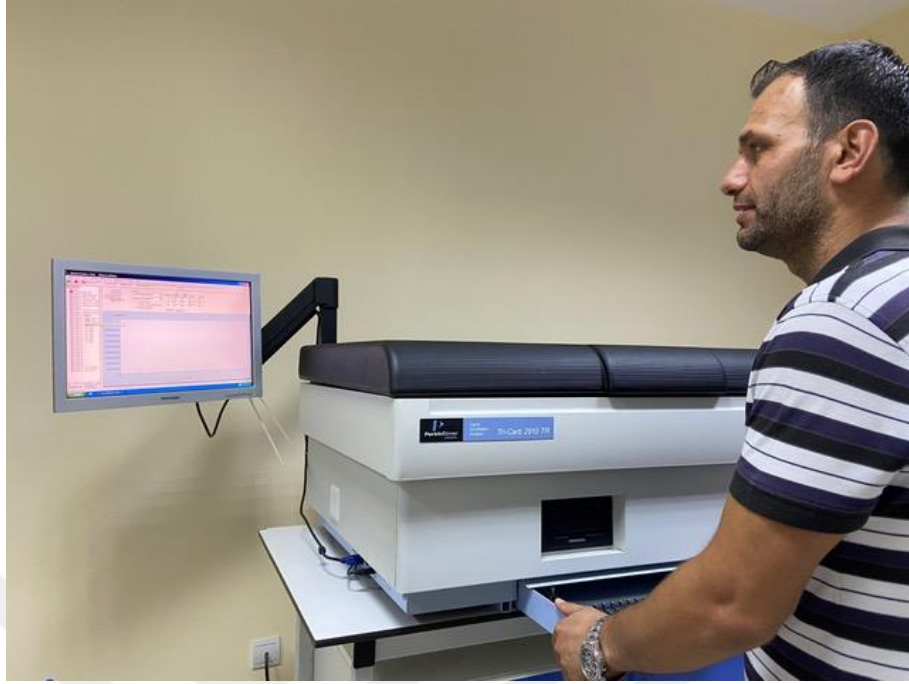
Şekil 19. Analiz öncesinde viallere sintilasyon kokteyli ekleme aşaması



Şekil 20. Analiz öncesinde viallere sintilasyon kokteyli ekleme aşaması



Şekil 21. LSC viallerinin analiz öncesi hazırlık aşaması



Şekil 22. Örneklerin LSC cihazında analiz aşaması

2.5. Karbon Kimyası (pH, CO₂, Alkalinite, Toplam Alkalinite ve Klorofil-a Ölçümleri)

Denemeler süresince pH, alkalinite, toplam alkalinite, pCO₂, HCO₃⁻ ve klorofil-a ölçümleri için denemenin başlangıç (T0), T6 (6.saat), T12 (12.saat), T24 (24.saat) ve T48 (48.saat) anında olmak üzere 5 defa örnekleme yapılmıştır.

Deniz suyunun pH'ı potansiyometrik olarak tespit edilmiştir. Öncelikle kullanılacak pH metre 0,01 hassasiyet ile deney koşulları (benzer sıcaklık ve basınç) altında pH 4-7-10 tampon çözeltileri ile kalibre edilmiştir. Ardından saf su ile yıkanan prob deniz suyu örneğine daldırılarak pH ölçümü gerçekleştirilmiştir (Wedborg vd., 2009).

Tuzluluk parametresi de pH gibi potansiyometrik olarak tampon çözeltiler ile kalibre edildikten sonra deniz suyunun tuzluluğu belirlenmiştir (Müller, 2007).

Alkalinite ve toplam alkalinite ölçümleri için otomatik titrasyon (TitraLab 865, Radiometer Analytical) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

HCO₃⁻ ve CO₂ konsantrasyonları için ölçülen pH, sıcaklık, tuzluluk ve alkalinite sonuçlarından yararlanılarak CO₂SYS yazılımı ile belirlenmiştir (Pierrot ve Wallace, 2006).

2.6. Besin Elementi Analizleri

Besin elementi analizleri (Nitrit+Nitrat, Amonyak, Reaktif Silikat ve Orto-Fosfat) Tarım ve Orman Bakanlığı Trabzon Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü bünyesinde bulunan SEAL marka Oto-Analizör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut cihazın tayin limitleri nitrit için 0,003 µM, nitrat için 0,01 µM, nitrit+nitrat için 0,001 µM, amonyum için 0,04 µM, orto-fosfat için 0,02 µM ve reaktif silikat için 0,1 µM'dür. Cihazın ölçüm limitinin altındaki değerler için "<BDL" ifadesi kullanılmıştır. Analiz yöntemleriyle ilgili olarak ayrıntılı bilgi aşağıda sunulmuştur.

Nitrit analizi için, ortamdaki nitrit iyonu asidik koşullarda sulfanilamidle reaksiyona girerek diazo bileşiğini oluşturur. Bu bileşik, N-1-Naphtylethylenediamin dihidroklorür ile reaksiyona girerek pembe azobileşiğini meydana getirir. Burada NH₄Cl aktifleyici olarak kullanılmaktadır. Kalorimetrik ölçümlerde absorbans 550 nm'de kaydedilmiş, kaydedicide nitritin orijinal derişimi ile orantılı olarak pikler elde edilerek hesaplama yapılmıştır (SM, 4500-NO₃- F./Modifiye, APHA 2011).

Nitrat analizi için, nitrit analizi yapıldıktan sonra su örneği kadmiyum-bakır indirgeme kolonundan geçirilerek nitratın nitrite indirgenmesi sağlanmış ve nitrit analizlerinde kullanılan yöntem aynen uygulanmıştır. Sonuçta elde edilen değer toplam nitrit ve nitrat derişimini (orijinal numunede bulunan nitrit+indirgenmiş nitrat) vermiştir (SM, 4500-NO₃- F./Modifiye, APHA 2011).

Otoanalizör ile amonyak ölçümünde prensip olarak "Berthelot" reaksiyonu ile sodyumnitroprusit katolizörlüğünde bir amonyum tuzu sodyumfenata eklenmiş ve de sodyumhipoklorit ilavesiyle mavi renkli ve indofenole bağlı bir oluşum meydana gelmiştir. Potasyum sodyum tartarat ve sodyum sitrat çözeltileri kalsiyum ve magnezyum hidroksitlerinin çökmesini engellemek için kullanılmıştır. Amonyak miktarları spektrofotometrik olarak 660 nm dalga boyunda ölçülmüş ve aynı aletsel koşullarda standart kalibrasyonu yapılarak derişim hesaplanmıştır (SM, 4500-NH₃ G./Modifiye, APHA 2011).

Orto-fosfat asidik ortamda amonyum molibdat, askorbik asit ve antimon ile reaksiyona girerek mavi fosfomolibdenyum kompleksi oluşmuştur. Renk değişimi orijinal ortofosfat derişimi ile orantılı olduğundan, spektrofotometrik olarak 880 nm’de absorbans ölçülmüştür. Ortofosfat derişimlerinin hesaplanabilmesi için aynı aletsel koşullarda standart kalibrasyonu çizilmiştir (SM, 4500 P F./Modifiye, APHA 2011).

Reaktif silikat analizinde, ortamdaki silikat asidik ortamda molibdatla reaksiyona girerek silikomolibdik asit oluşmuştur. Ardından askorbik asit ile indirgenerek mavi renkte molibden kompleksine dönüşmüştür. Burada oksalik asit ortamdaki fosfattan kaynaklanabilecek girişimi engellemek için kullanılmıştır. Silikat analizi için 820 nm’de spektrofotometrik olarak absorbans ölçümü yapılarak derişim hesaplanmıştır (SM, 4500-SiO₂ E./Modifiye, APHA 2011).

2.7. Analiz ve Değerlendirme

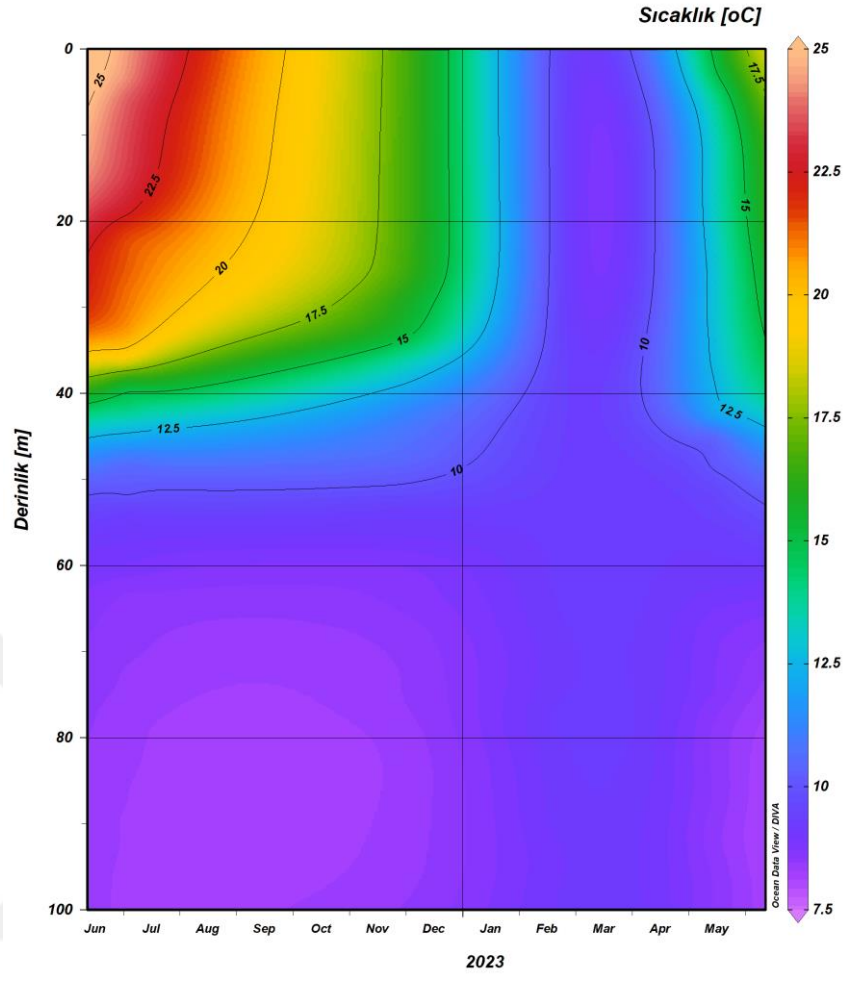
Çalışma süresince elde edilen verilerde istatistiksel analiz öncesi verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro_Wilk testi, varyansların homojenliği ise “Levene” testi ile incelenmiştir. Varyansların homojenliği ve normal dağılım analiz sonuçlarına göre “Parametrik” veya “Parametrik Olmayan” testler kullanılmıştır. Belirli bir zamanda, kontrol grubu (360 ppm CO₂) ile deneme grupları (600 ve 760 ppm CO₂) arasında farklılık olup olmadığının tespiti için Student-t testi (parametrik) veya Mann-Whitney U (parametrik olmayan) testi kullanılmıştır. Belirli bir grubun zamansal değişiminde farklılıkların olup olmadığının tespiti için ise Tek Yönlü Varyans Analizi (One Way ANOVA, Tukey) veya Kruskal Wallis testleri uygulanmıştır (Sokal ve Rohlf, 1969). Tüm istatistiksel analizler Sigma Plot v.11 ‘de gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, elde edilen biyolojik veriler ile çevresel parametreler arasındaki ilişki CANOCO4.5 programı ile CCA analizleri ile ortaya konulmuştur (Ter Braak ve Smilauer, 2002). Tüm istatistik analizlerinde önem seviyesi $p < 0,05$ olarak ayarlanmıştır.

3. BULGULAR

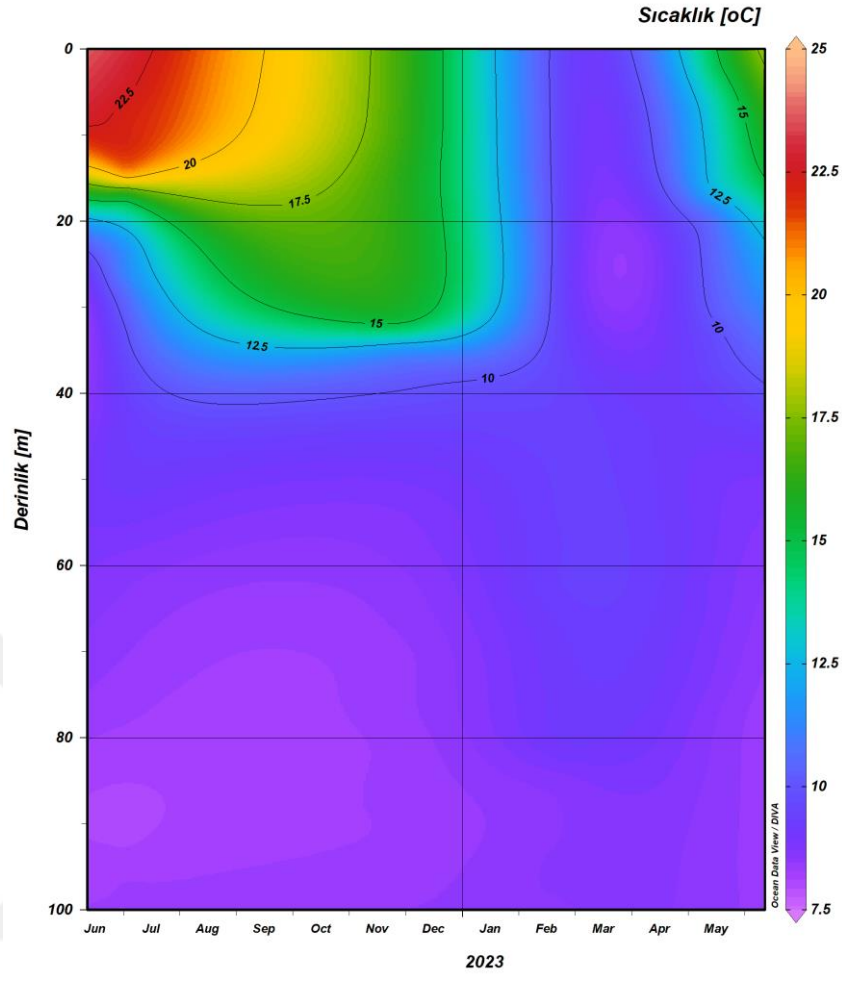
3.1. Hidrografi

Çalışmanın yürütüldüğü dönem içerisinde istasyonlara ait sıcaklık profilleri Şekil 23-24’de sunulmuştur. Çalışma bölgesinde en düşük deniz suyu yüzey sıcaklığı (8,27°C) Şubat 2022 döneminde ve en yüksek deniz suyu yüzey sıcaklığı ise (24,35°C) Temmuz 2023 döneminde kaydedilmiştir (Şekil 23). Açık istasyonda ise deniz suyu yüzey sıcaklığı 8,09°C-22,96°C aralığında değişim göstermiştir (Şekil 24). Genel olarak yaz döneminden kalma mevsimsel termoklinin kısmen de olsa sonbahar mevsiminde devam ettiği ve kış karışımlarıyla tamamen ortadan kalktığı profillerden anlaşılmaktadır. İlkbaharla birlikte suların ısınmasıyla yeniden şekillenmeye başlamıştır. Kıyı istasyonunda 30 m’lerde tespit edilen mevsimsel termoklin açık istasyonda ise 20 m’lerde daha düzensiz bir yapı sergilemiştir.

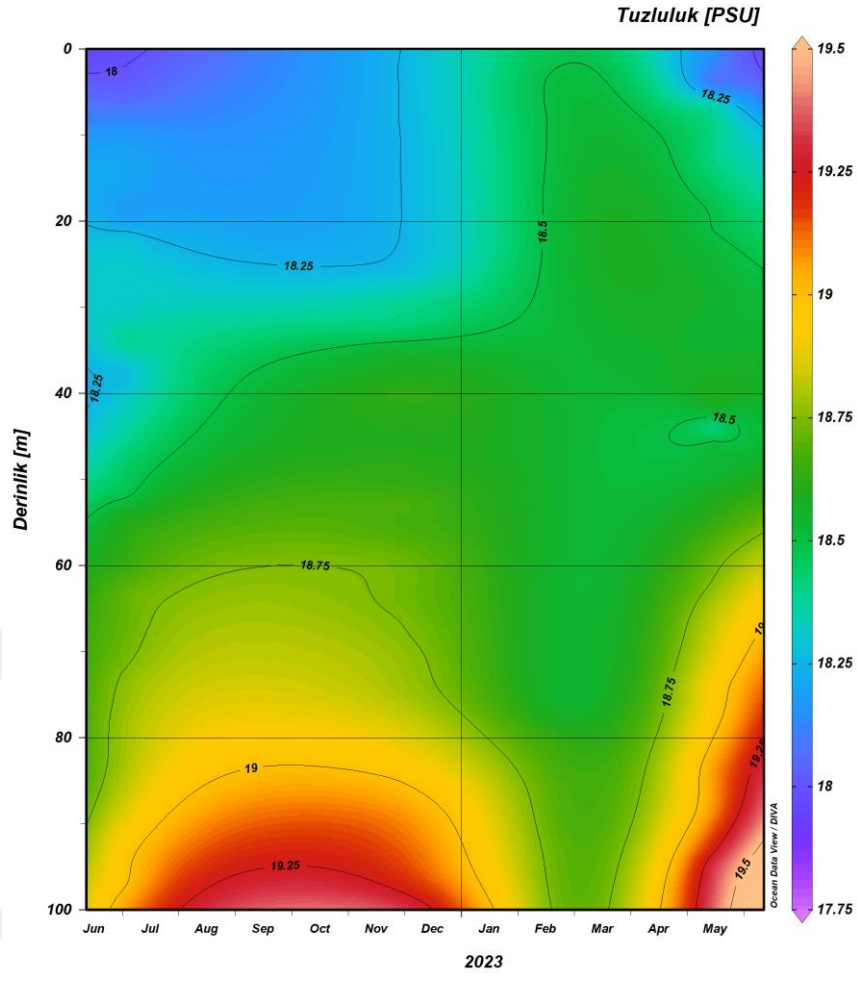
Çalışmanı yürütüldüğü dönem içerisinde elde edilen tuzluluk profilleri ise Karadeniz’in genel karakteristiğine uygun (‰18) bir yapı sergilerken derinlikle beraber ‰20 seviyelerine ulaşmıştır (Şekil 25-26). Özellikle nehir girdisine yakın olan kıyı istasyonunda ve yağışların etkili olduğu Şubat ve Mayıs dönemlerinde yüzey suyu Tuzluluk değerleri ‰18’e kadar düşmüştür. Karışımların yoğun olduğu dönemlerde (kış ve kısmen ilkbahar) su kolonu daha homojen bir yapı sergilemiştir.



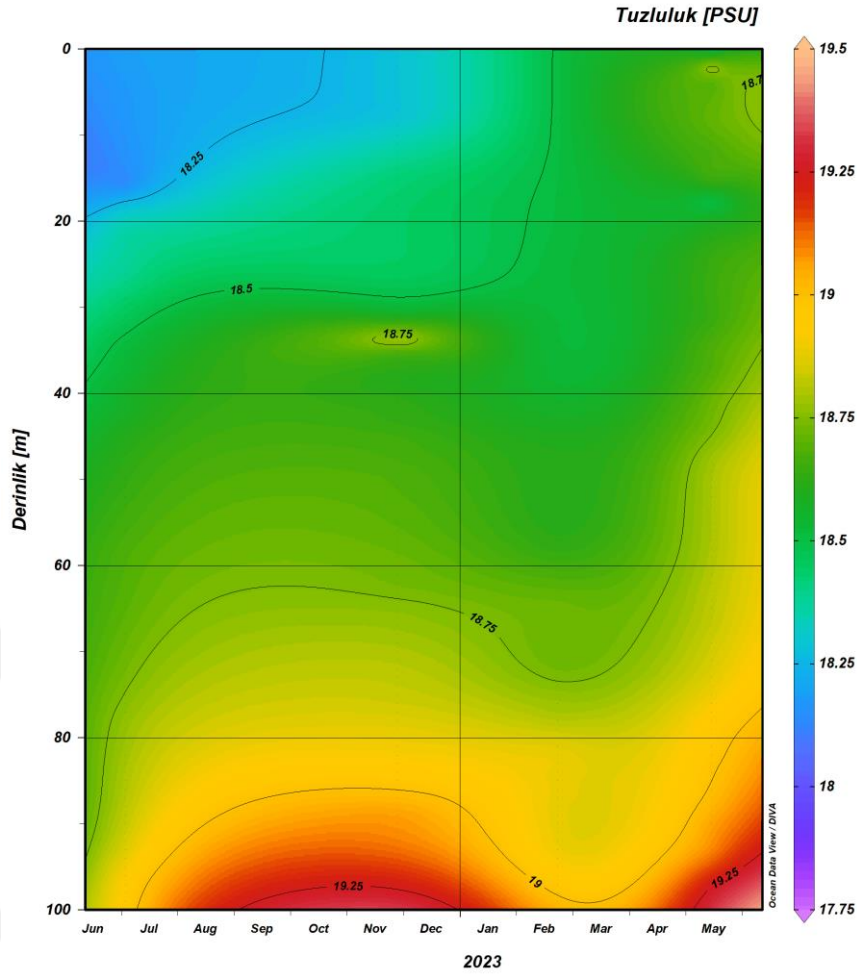
Şekil 23. Kıyı istasyonuna (2 deniz mili) ait sıcaklık profili



Şekil 24. Açık istasyona (20 deniz mili) ait sıcaklık profili

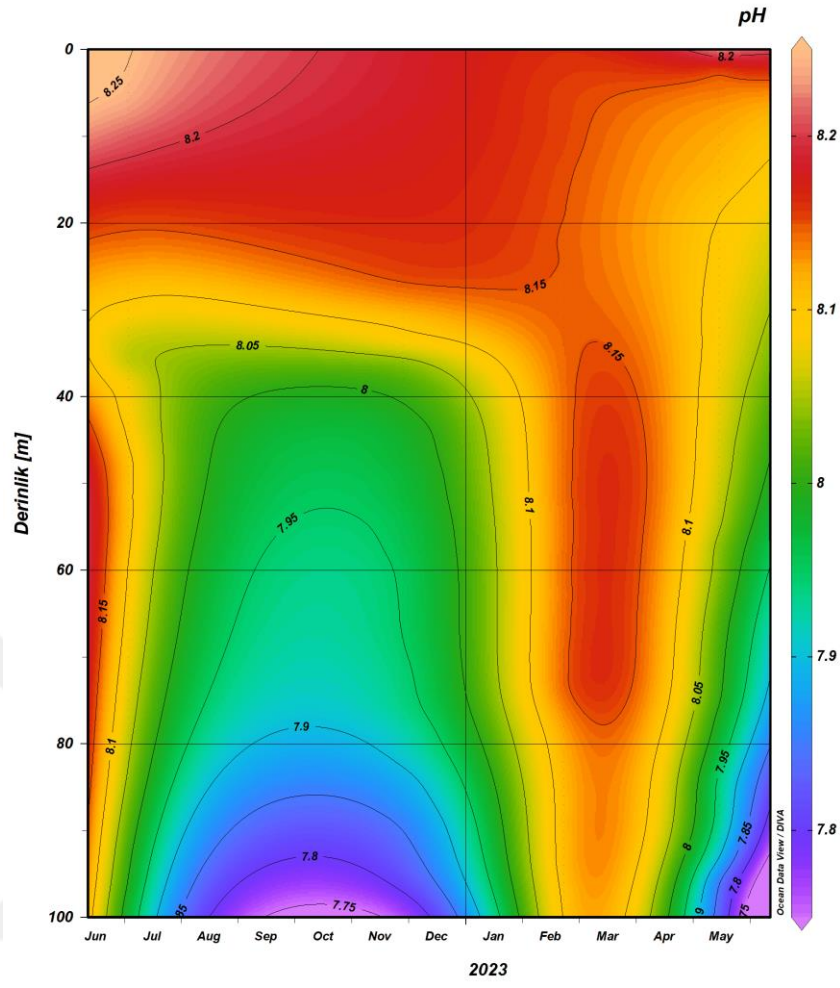


Şekil 25. Kıyı istasyonuna (2 deniz mili) ait tuzluluk profili

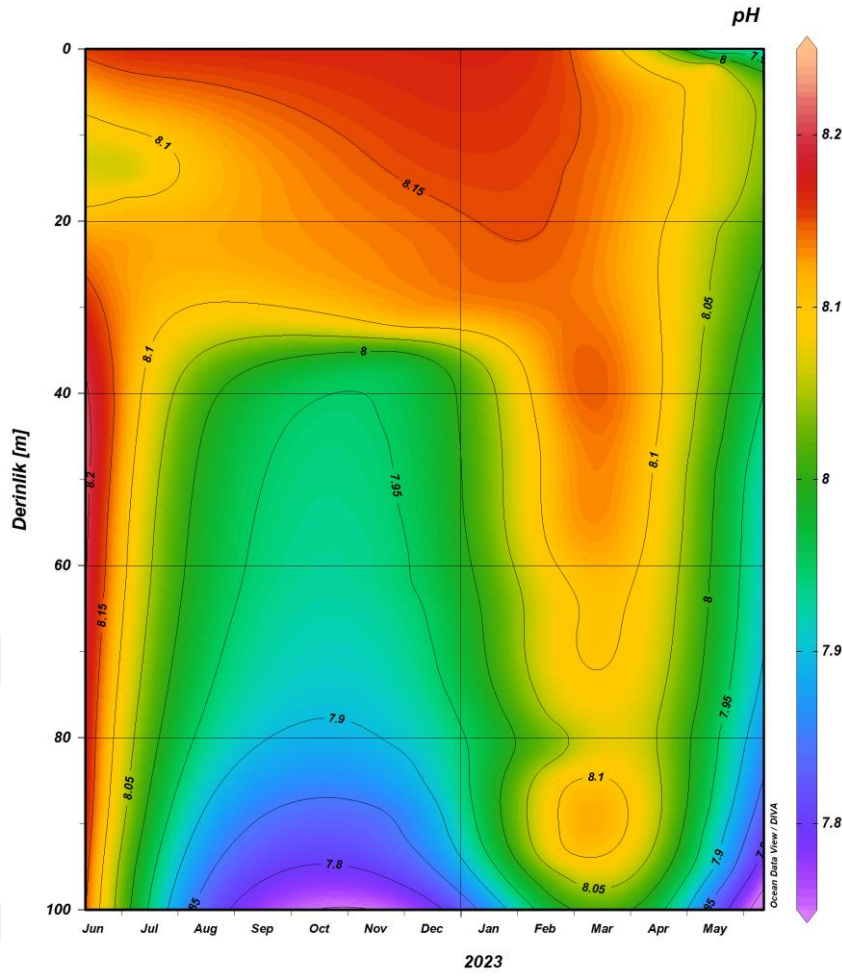


Şekil 26. Açık istasyona (20 deniz mili) ait tuzluluk profili

İstasyonların pH profilleri ilk 40 m'lik su kolonunda farklılık gösterirken bu derinlikten sonra derinlikle beraber azalan bir yapı sergilemiştir (Şekil 27-28). Kıyısal bölgede yüzey suyu pH değeri 8,16-8,25 arasında değişim gösterirken açıkta 7,93-8,17 arasında değişim göstermiştir. Denemeler için örneklemelerin yapıldığı 10 m derinlikte ise kıyıda 8,12-8,21 arasında değişen pH değeri açık istasyon 8,09-8,17 aralığında değişim göstermiştir. Okyanus ve denizlerin pH aralığı genel olarak 7,5-8,4 arasında değişmekte olup çalışma bölgesinde yapılan ölçümler neticesinde pH değeri bu aralıklar arasında değişim göstermiştir. İstasyonlarda ilk 25 m'de açık istasyonun pH değeri kıyıya nazaran daha düşük bir yapı sergilerken 25 m'den sonra durum tersine dönerek kıyı istasyonu daha düşük pH değerleri ile karakterize olmuştur.

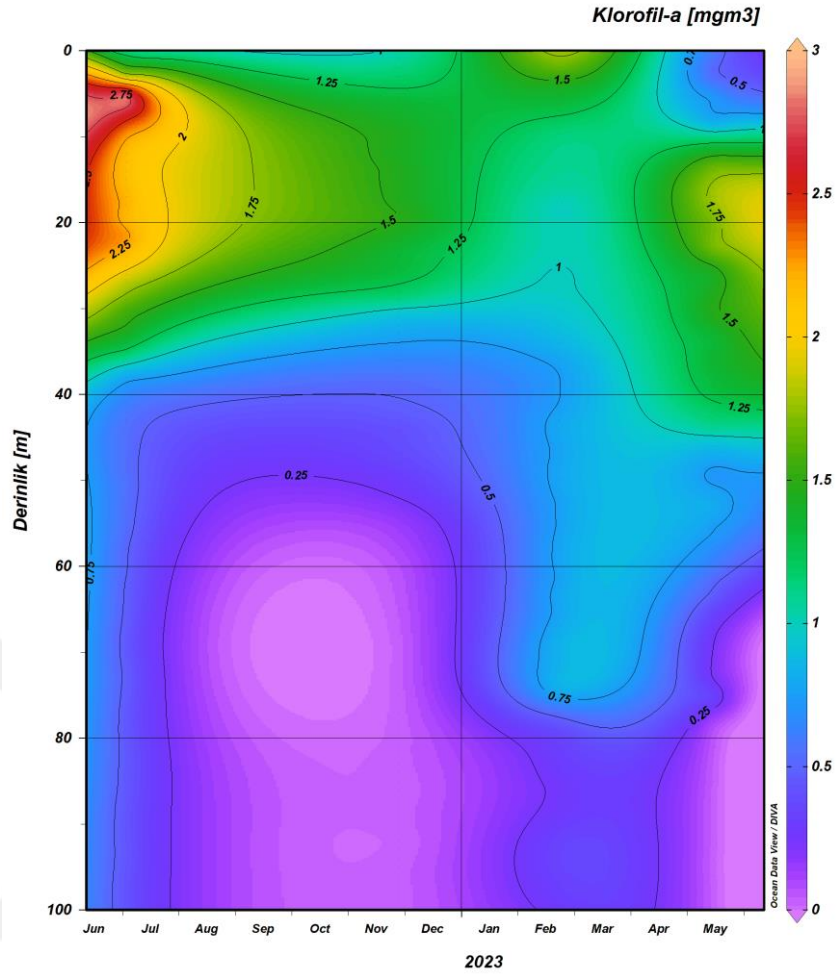


Şekil 27. Kıyı istasyonuna (2 deniz mili) ait pH profili

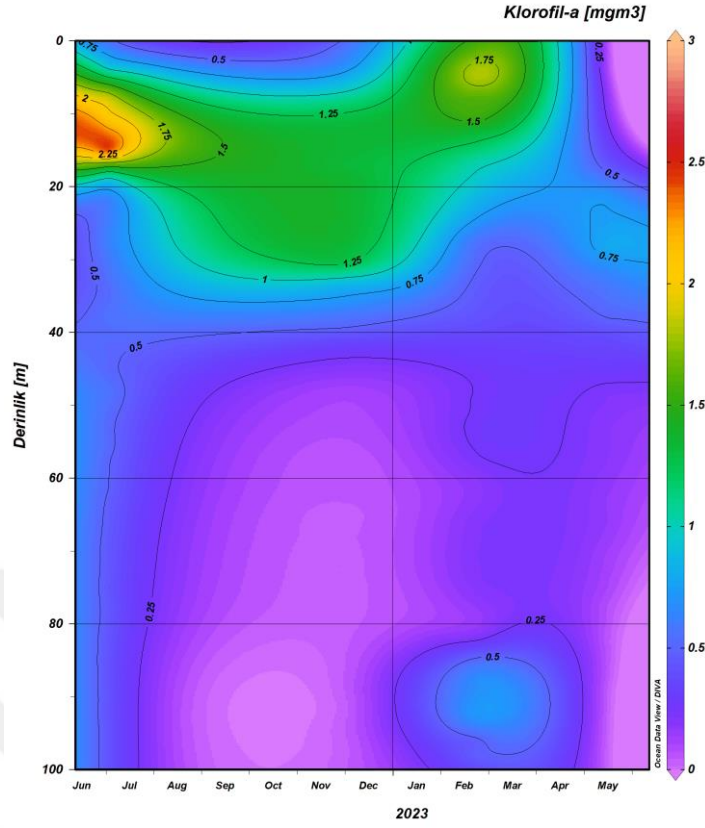


Şekil 28. Açık istasyona (20 deniz mili) ait pH profili

Çalışma bölgesinde klorofil-*a* profilleri tabakalaşmanın çok yoğun olduğu yaz döneminde derinliğe bağlı olarak azalan bir yapı sergilerken nispeten mevsimsel termoklinin devam ettiği sonbahar dönemi ile karışımların çok yoğun olduğu kış döneminde daha düzensiz bir yapı sergilemiştir (Şekil 29-30). Klorofil maksimumun yaz döneminde genelde yüzeye yakın derinliklerde tespit edilirken diğer mevsimlerde kısmen daha derinlerde gözlenmiştir. Çalışma süresince istasyonlara ait klorofil-*a* konsantrasyonları kıyı istasyonunda 0,03-2,97 $\mu\text{g/l}$ arasında ve açık istasyonda ise 0,03-2,69 $\mu\text{g/l}$ arasında değişim göstermiştir.



Şekil 29. Kıyı istasyonuna (2 deniz mili) ait klorofil-a profili



Şekil 30. Açık istasyona (20 deniz mili) ait klorofil-a profili

Tablo 2. Mevsimlere Ait CTD profilleri

Örnekleme Dönemleri		pH	Klorofil-a	Deniz suyu yüzey sıcaklığı	Tuzluluk
Yaz	Kıyı	8,25	3,97 µg/L	24,35°C	% 17-19
	Açık	8,16	2,69 µg/L	22,96°C	
Sonbahar	Kıyı	8,19	1,54 µg/L	16,88°C	% 18-20
	Açık	8,17	1,46 µg/L	16,57°C	
Kış	Kıyı	8,16	1,72 µg/L	9,62°C	% 18-20
	Açık	8,16	1,60 µg/L	16,64°C	
İlkbahar	Kıyı	8,21	0,61 µg/L	15,06°C	% 18-20
	Açık	8,07	0,12 µg/L	14,59°C	

3.2. CO₂-Birincil Üretim İlişkisi

Çalışmanın yürütüldüğü dönem içerisinde fitoplankton toplam birincil üretim miktarları denemeler süresince $41-8553 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Fitoplankton boy grupları açısından bir değerlendirme yapıldığında ise mikrofıtoplankton en yüksek birincil üretim miktarlarıyla ($6-6410 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) öne

çıkan grup olurken bunu nanofitoplankton ($9-3552 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) ve pikofitoplankton ($1-946 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) takip etmiştir. Birincil üretim miktarları gerek farklı CO_2 konsantrasyonları ve gerekse sıcaklık kontrolü altında denemeler süresince önemli değişimler göstermiştir (Şekil 31-42). Genel bir eğilim olarak denemelerin başlangıcında düşük olan birincil üretim miktarları T24 zamanında en yüksek seviyesine ulaşmış ve sonraki 24 saatlik süre içerisinde (T48) ise ciddi oranda değişim göstermiştir. Bölgesel anlamda bir değerlendirme yapıldığında ise kıyıs al bölge birincil üretim miktarlarının ($43-8553 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) açık bölgeden ($41-4443 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) önemli oranda yüksek olduğu tespit edilmiştir.

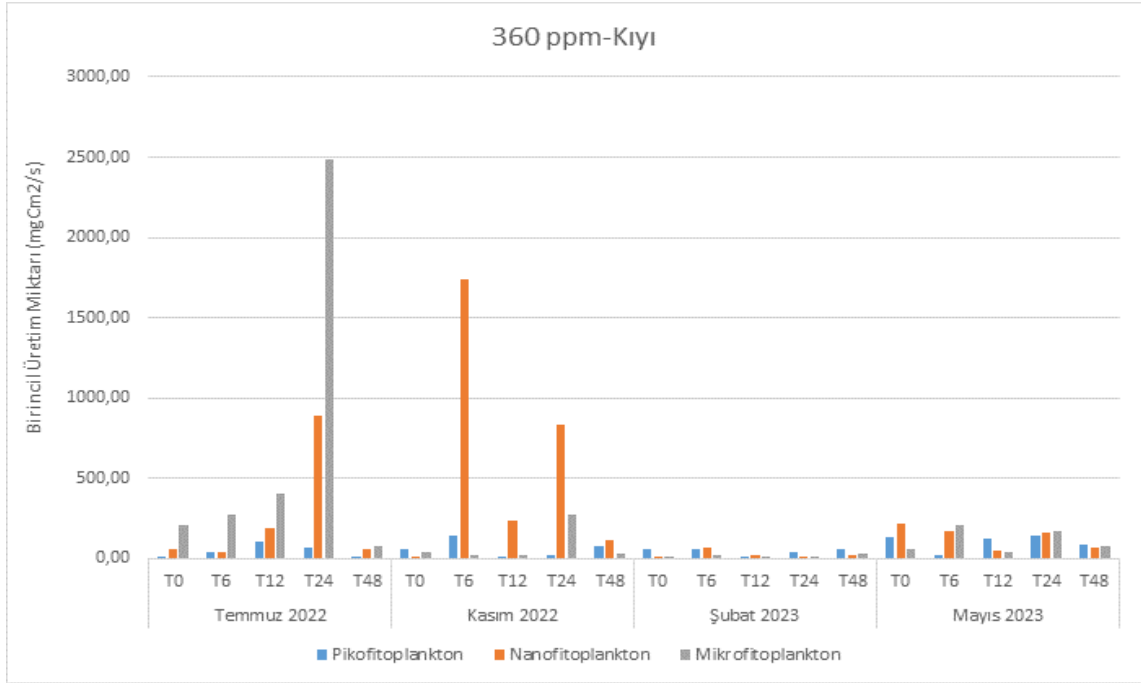
CO_2 konsantrasyonları açısından bir değerlendirme yapıldığında CO_2 konsantrasyonunun artışına bağı olarak birincil üretim miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir. Sıcaklık- CO_2 ilişkisi incelendiğinde sinerjik bir etkinin meydana geldiğı tespit edilmiştir.

360 ppm'lik deneme gruplarında birincil üretim miktarları $43-7500 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$ arasında değişim gösterirken, kıyıs al bölgenin üretim miktarının açık istasyona göre 4 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 31-34). Normal mevsimsel koşulların sabit tutulduğu deneme grubunda üretim miktarı $43-3446 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$ arasında değişirken sıcaklığın $+3^\circ\text{C}$ olduğu deneme grubunda ise $43-7500 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$ arasında değişim göstermiş ve 2 kata yakın bir oranda artış göstermiştir. Fitoplankton boy grupları açısından bir değerlendirme yapıldığında ise mikrofitoplankton baskınlığı ($8-6410 \text{ mgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$) dikkat çekerken bunu nanofitoplankton ($10-1743 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) ve pikofitoplankton ($1-849 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) takip etmiştir. Mevsimsel olarak bir değerlendirme yapıldığında ise denemelerin başlatıldığı Temmuz 2022 ($52-7500 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) ve sonraki dönem Kasım 2022 ($112-2225 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) örnekleme dönemleri yüksek birincil üretim miktarlarıyla karakterize olmuştur. Boy gruplarının mevsimsel katkı oranları değerlendirildiğinde ise Temmuz 2022 döneminde miktofotoplankton ($20-6410 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) birincil üretim miktarıyla öne çıkan grup olmuştur. Diğer örnekleme dönemlerinde ise nanofitoplankton baskınlığı dikkat çekmiştir.

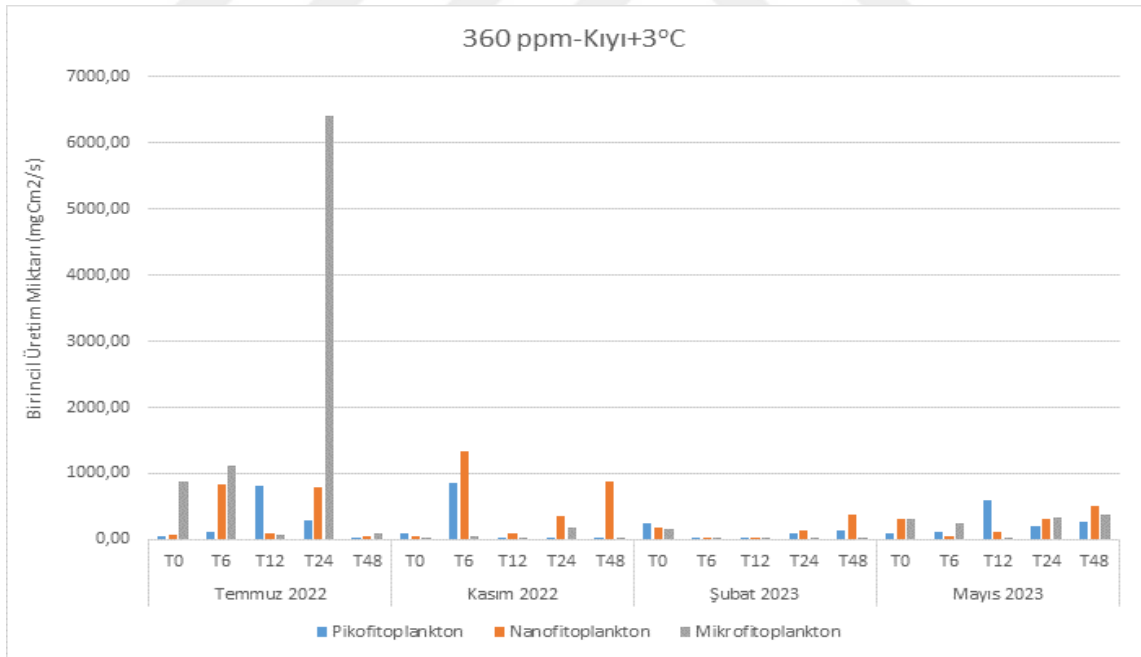
600 ppm'lik deneme gruplarında birincil üretim miktarları $57-7833 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Bölgesel olarak kıyıs al bölgenin üretim miktarının

açık istasyona göre 5-6 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 35-38). Sıcaklık koşulları devreye girdiğinde ise normal mevsimsel koşulların sabit tutulduğu deneme grubunda üretim miktarı $57-6307 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$ arasında değişirken sıcaklığın $+3^{\circ}\text{C}$ olduğu deneme grubunda ise $91-7833 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Fitoplankton boy grupları açısından 600 ppm'lik deneme gruplarında mikrofitoplankton yüksek birincil üretim miktarıyla ($12-5191 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) dikkat çekerken bunu nanofitoplankton ($10-2601 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) ve pikofitoplankton ($8-377 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) takip etmiştir. Mevsimsel olarak bir değerlendirme yapıldığında ise kıyısal bölgede Temmuz 2022 ($76-7833 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) ve Kasım 2022 ($81-2373 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) örnekleme dönemleri yüksek birincil üretim miktarlarıyla karakterize olmuştur. Açık bölgede ise bütün mevsimlerde üretim miktarları benzer bir eğilim sergilerken nanofitoplankton baskınlığı da dikkat çekmektedir. Boy gruplarının mevsimsel katkı oranları değerlendirildiğinde ise Temmuz 2022 döneminde mikrofitoplankton ($22-5191 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) baskın grup olurken diğer dönemlerde nanofitoplankton öne çıkmıştır.

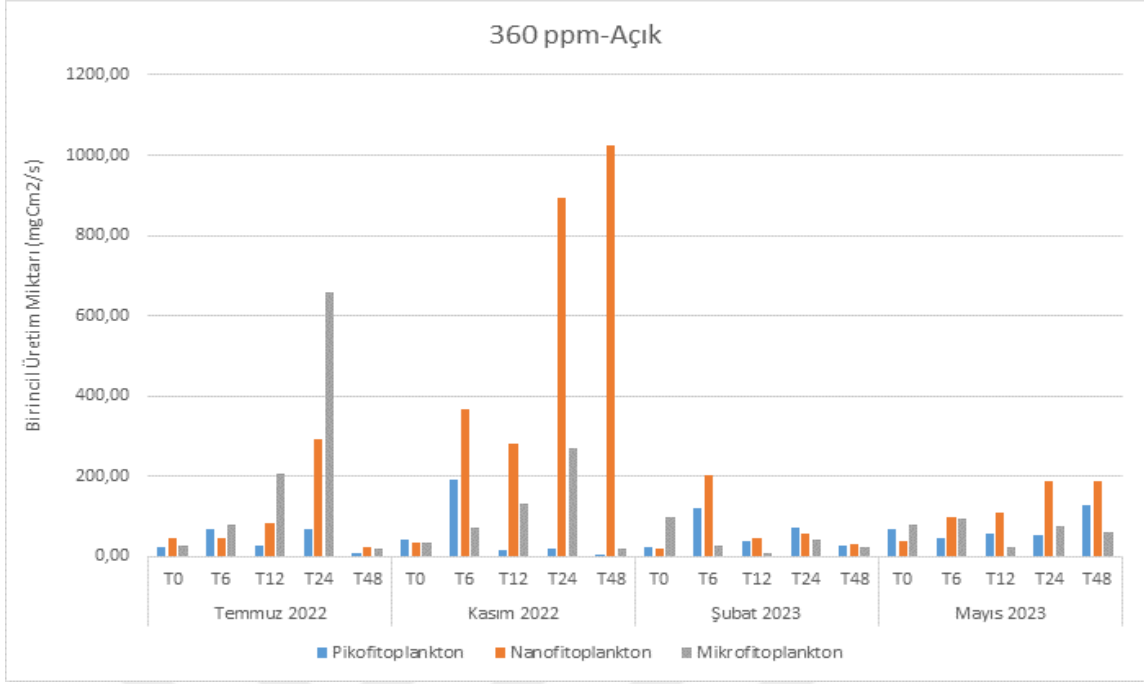
760 ppm'lik deneme gruplarında birincil üretim miktarları $41-8553 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Bölgesel olarak kıyısal bölgenin üretim miktarının açık istasyona göre 2 kata yakın bir oranda daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 39-42). Sıcaklık koşulları açısından bir değerlendirme yapıldığında ise normal mevsimsel koşulların sabit tutulduğu deneme grubunda üretim miktarı $41-7390 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$ arasında değişirken sıcaklığın $+3^{\circ}\text{C}$ olduğu deneme grubunda ise $58-8553 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Fitoplankton boy grupları açısından bir değerlendirme yapıldığında ise mikrofitoplankton baskınlığı ($6-6174 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) dikkat çekerken bunu nanofitoplankton ($9-3552 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) ve pikofitoplankton ($8-946 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) takip etmiştir. Mevsimsel olarak bir değerlendirme yapıldığında ise denemelerin başlatıldığı ilk 3 örnekleme dönemi yüksek birincil üretim miktarlarıyla karakterize olmuştur. Boy gruplarından mikrofitoplankton Temmuz 2022 ($14-6173 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) ve Mayıs 2023 ($33-1367 \text{ mgCm}^{-2}\text{g}^{-1}$) döneminde baskın grup olmuştur. Diğer dönemlerde ise nanofitoplankton baskınlığı dikkat çekmiştir.



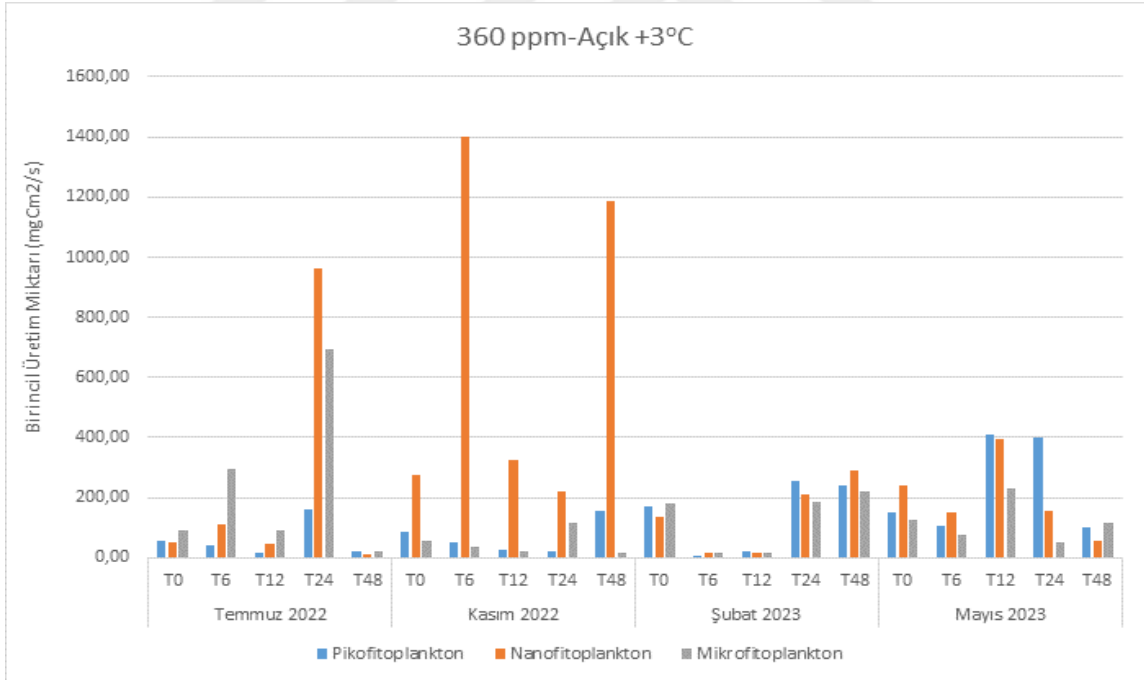
Şekil 31. Kıy 360 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



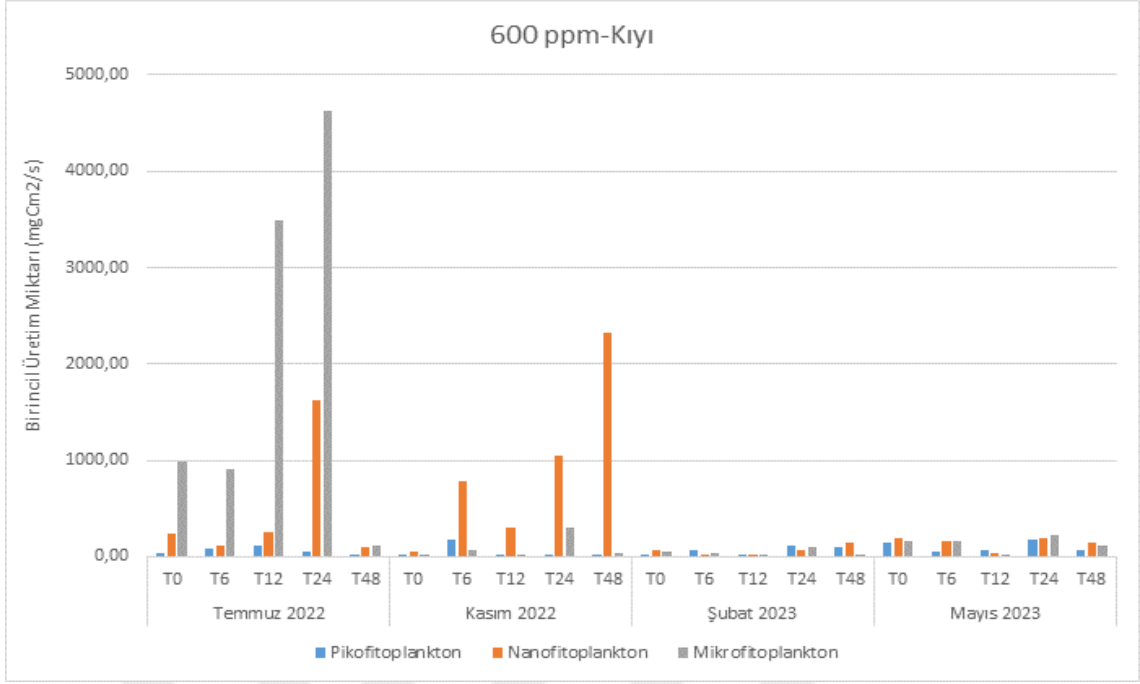
Şekil 32. Kıy 360 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



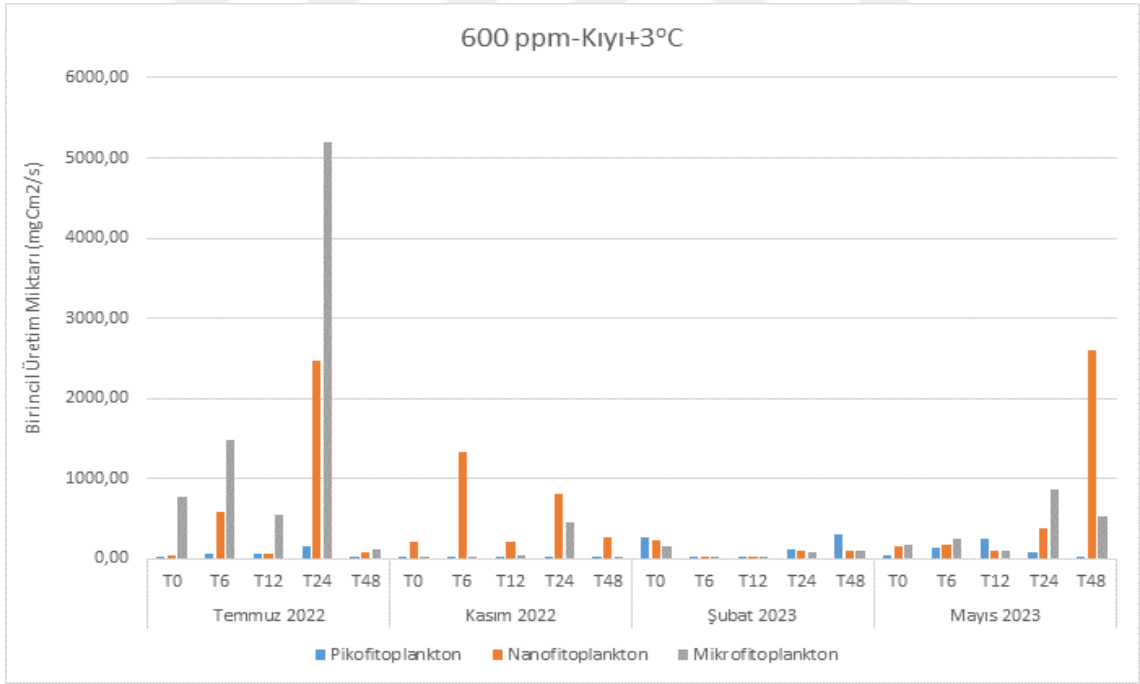
Şekil 33. Açık istasyon 360 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



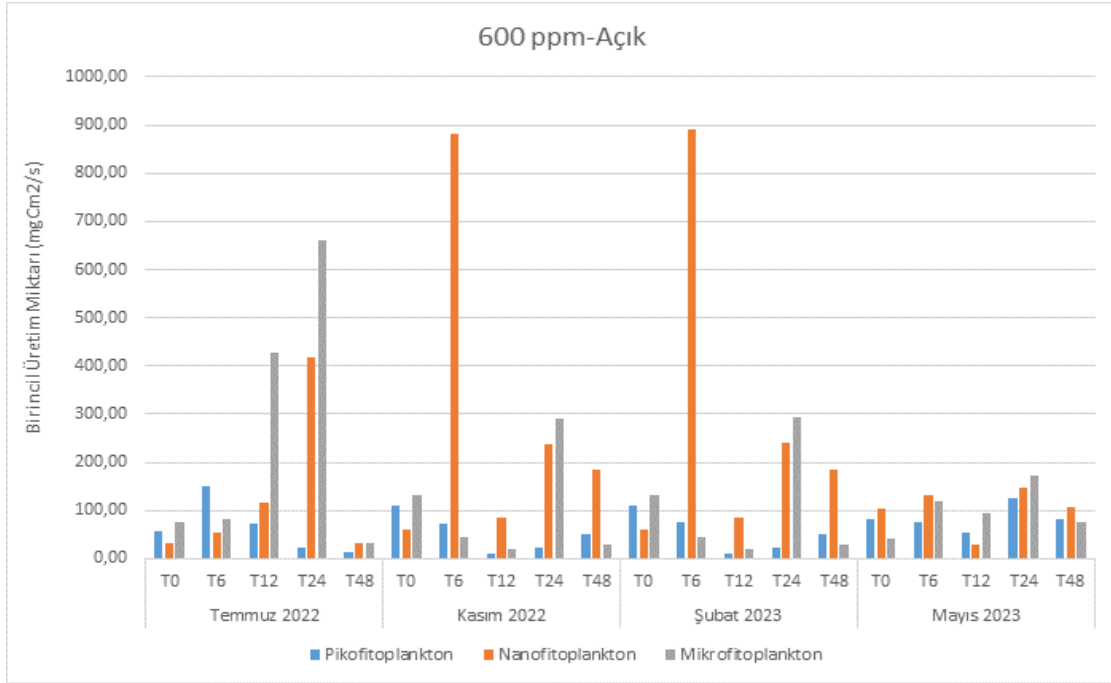
Şekil 34. Açık istasyon 360 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



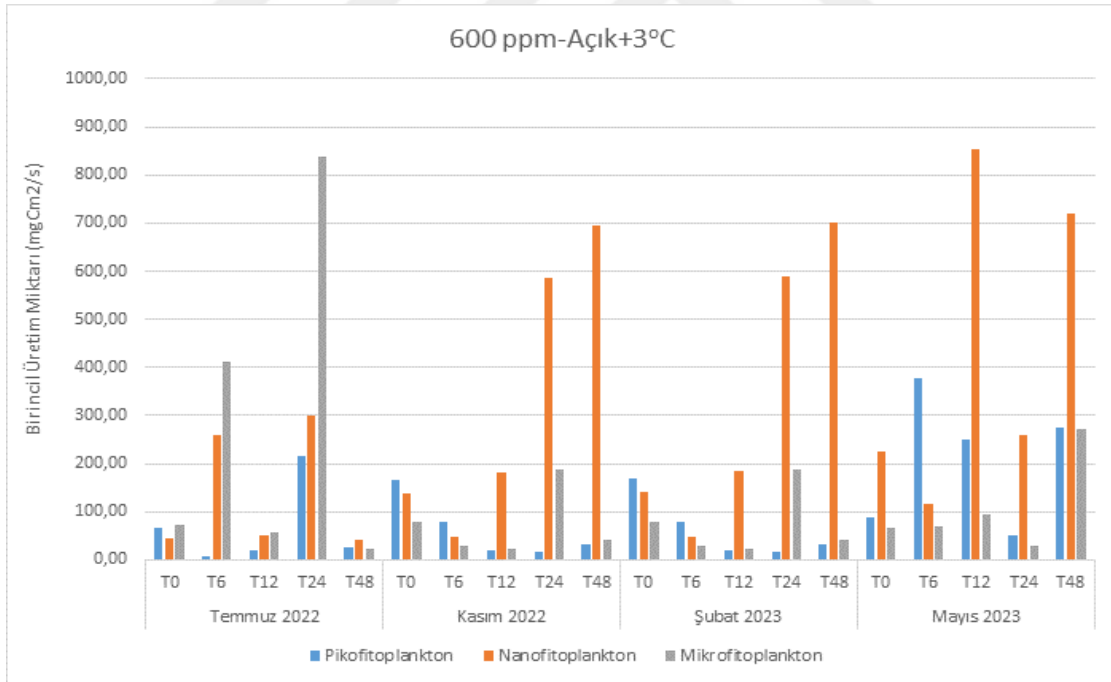
Şekil 35. Kıyı istasyonu 600 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



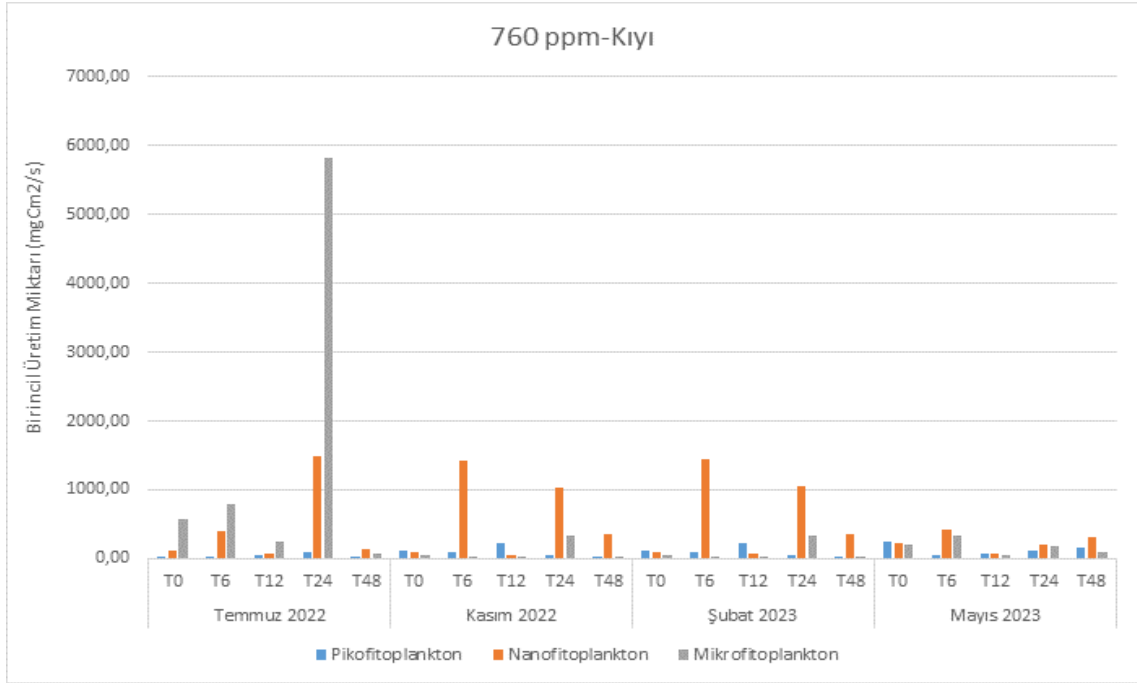
Şekil 36. Kıyı istasyonu 600 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



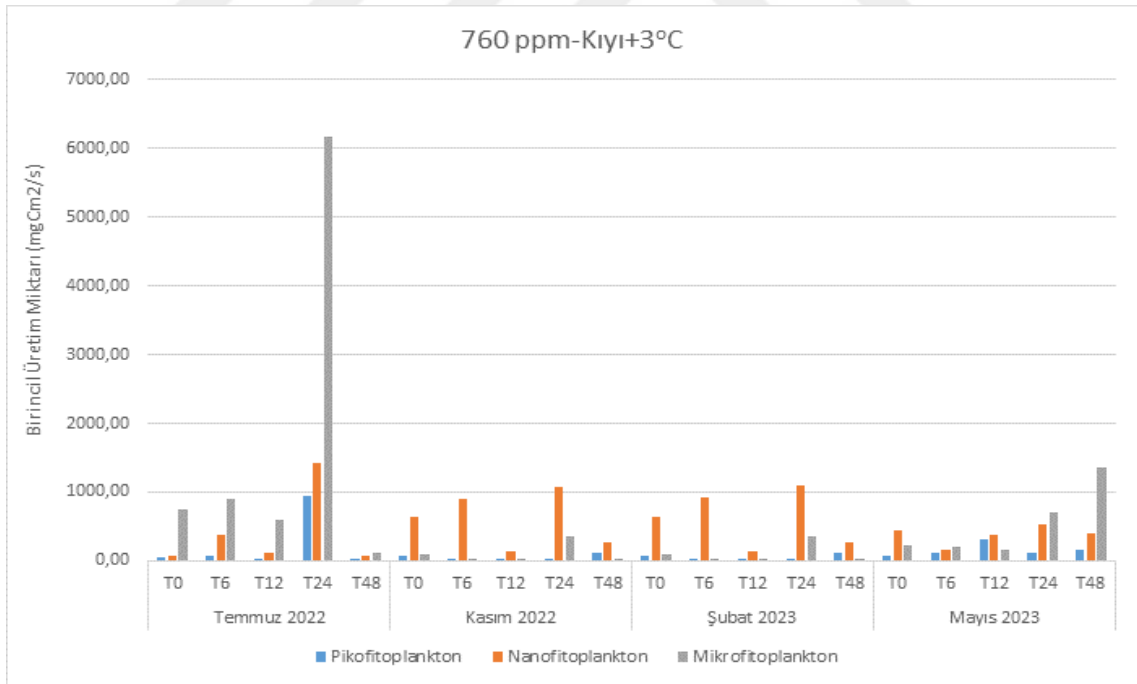
Şekil 37. Açık istasyon 600 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



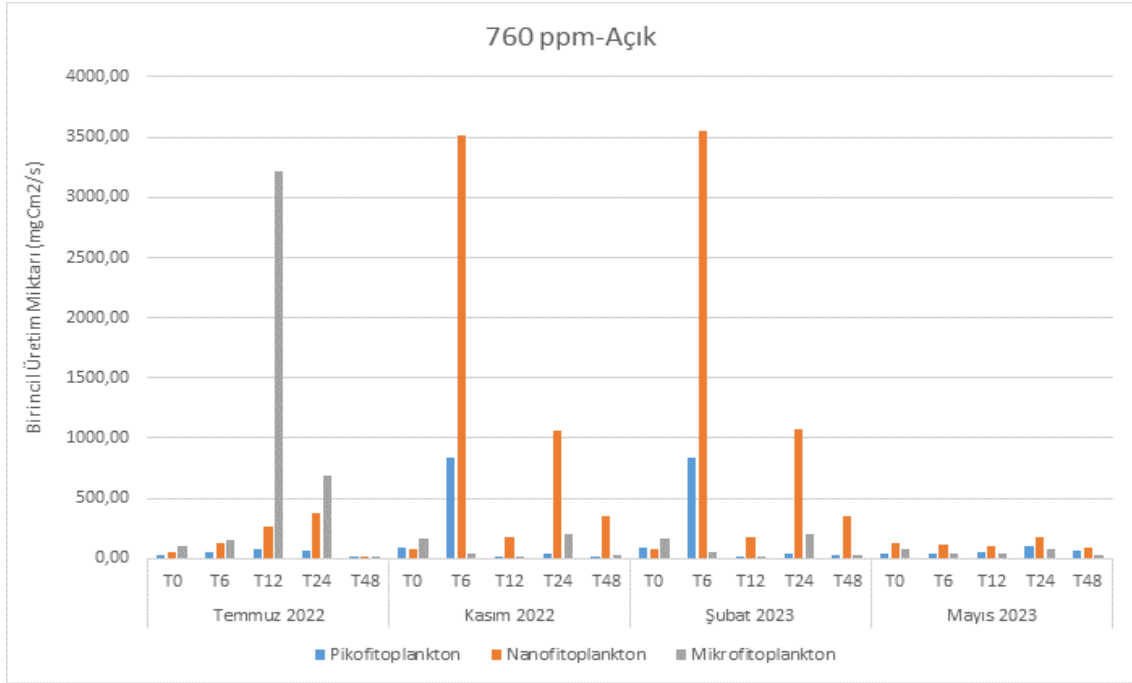
Şekil 38. Açık istasyon 600 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



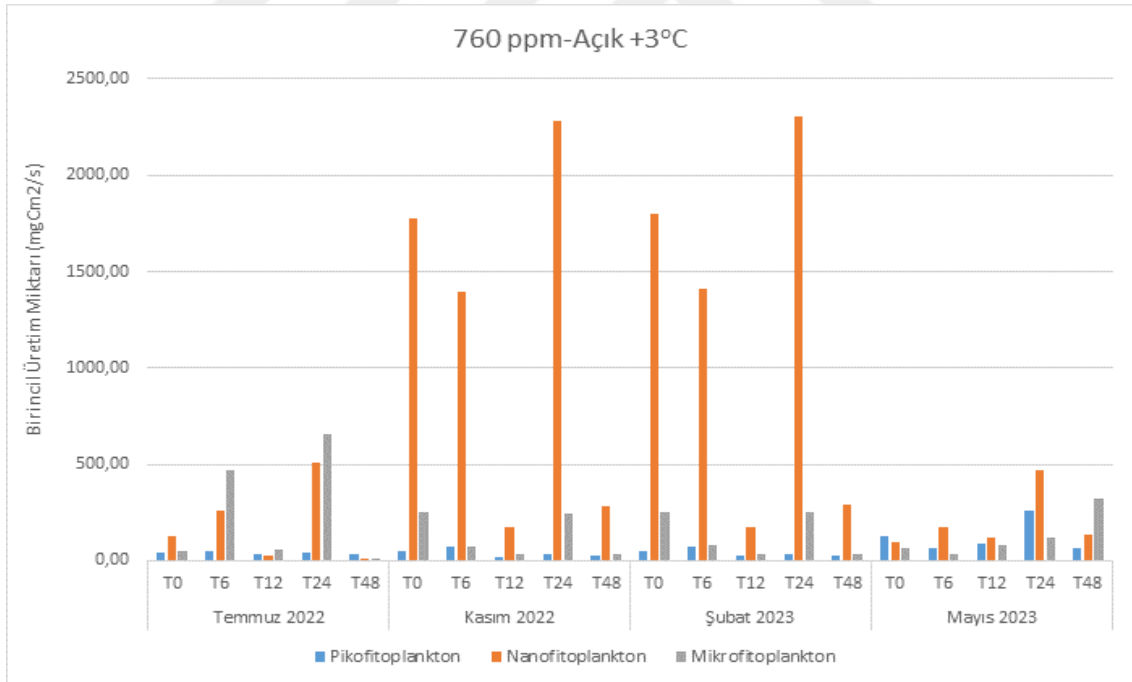
Şekil 39. Kıy ı istasyonu 760 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



Şekil 40. Kıy ı istasyonu 760 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



Şekil 41. Açık istasyon 760 ppm’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



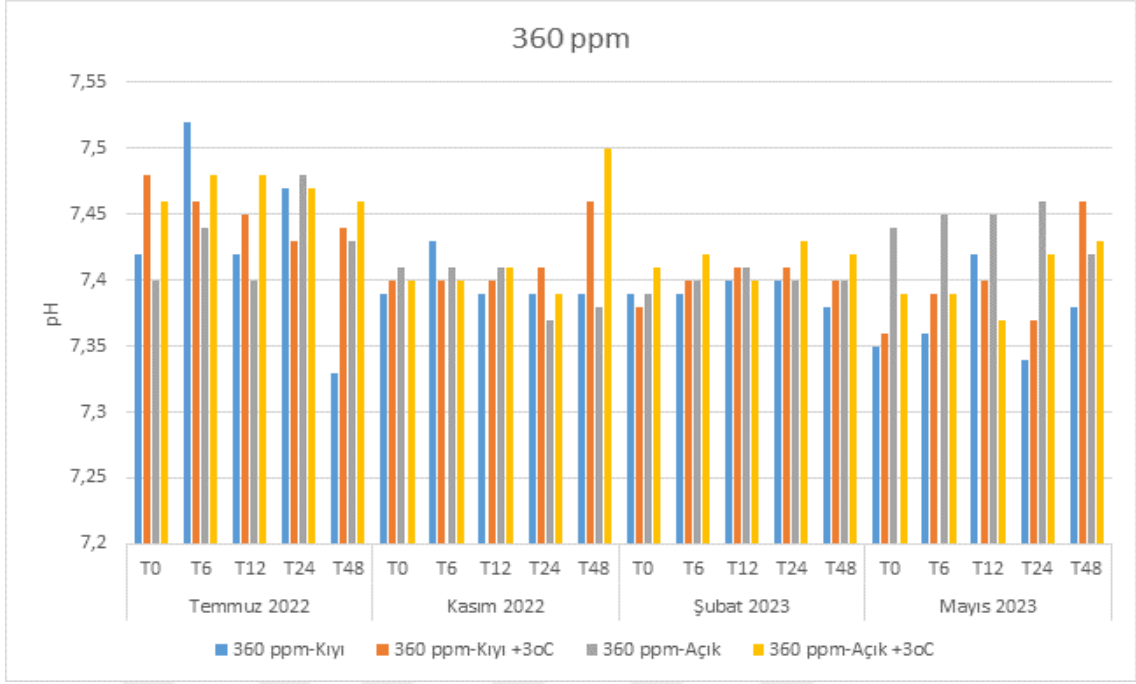
Şekil 42. Açık istasyon 760 ppm +3°C’lik kontrol grubuna ait fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

Tablo 3. Fitoplankton toplam birincil üretim miktarları

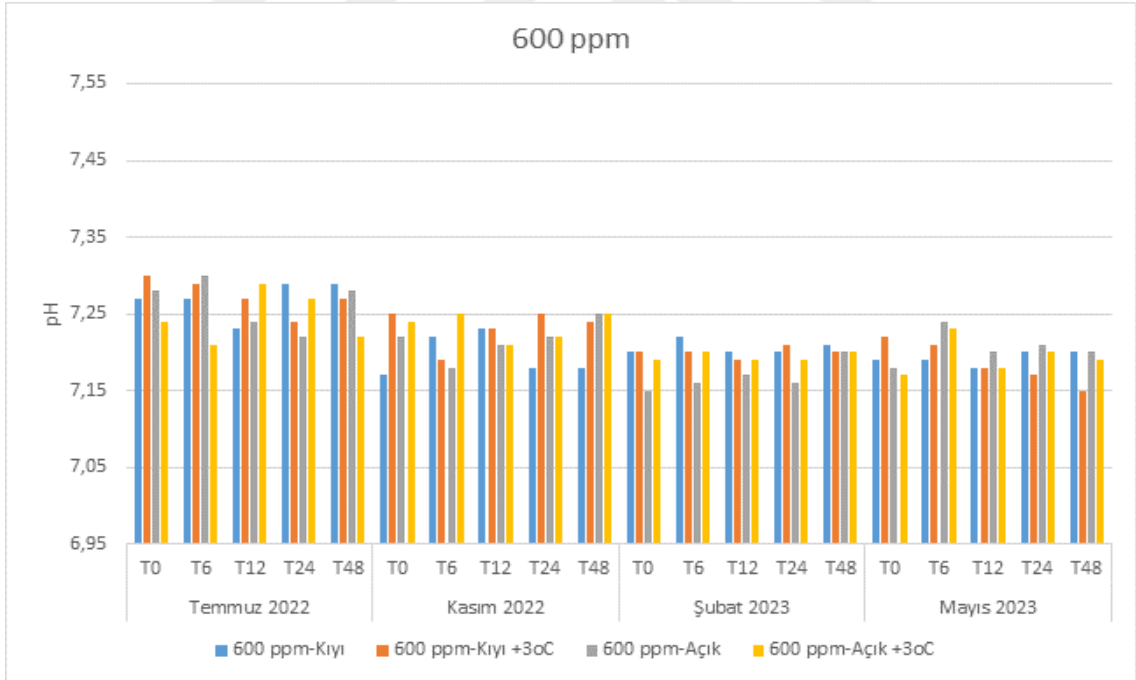
CO ₂ (ppm)	İstasyon	Toplam birincil üretim miktarları			
		Yaz (mgCm ⁻² g ⁻¹)	Sonbahar (mgCm ⁻² g ⁻¹)	Kış (mgCm ⁻² g ⁻¹)	İlkbahar (mgCm ⁻² g ⁻¹)
360	Kıyı	6,83-7500	112-2225	43-479	185-1135
600	+	8,29-7833	81-2373	57-1010	143-3152
760	Açık	7,80-8553	184-4401	187-4444	185-1941

3.3. CO₂-Karbon Kimyası İlişkisi

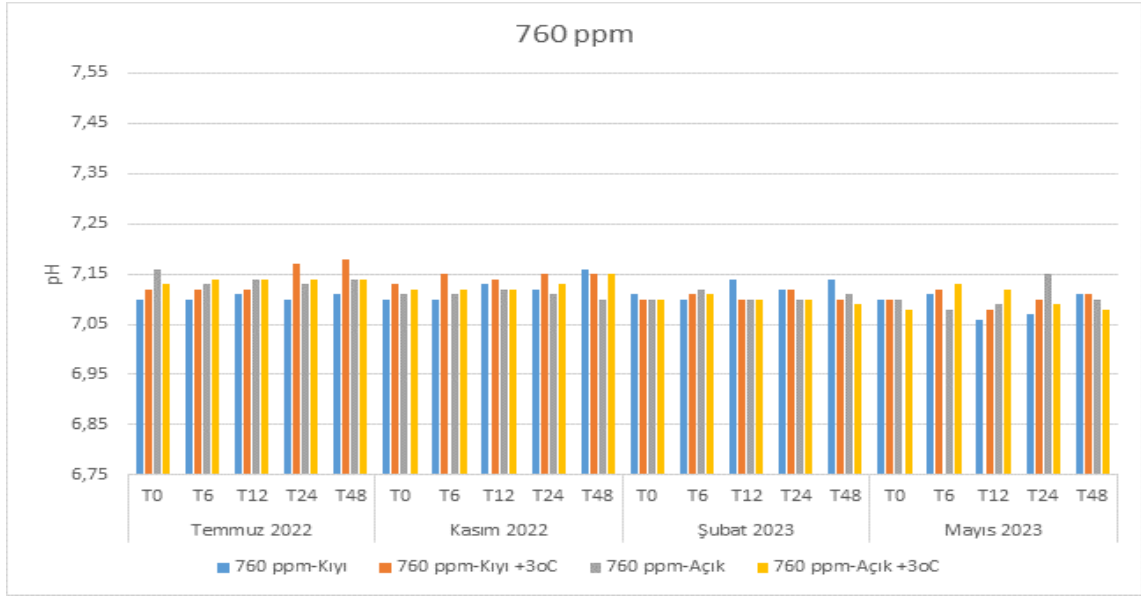
Denemeler için örneklemelerin yapıldığı 10 m derinlikte pH 8,08-8,21 (CTD verisi, bakınız Şekil 27) arasında değişim gösterirken denemeler süresince pH 7,06-7,52 arasında değişim göstermiştir (Şekil 43-45). İstasyonlar açısından bir değerlendirme yapıldığında kıyısal bölgeye ait serilerde pH 7,06-7,52 arasında değişim gösterirken açık bölge için pH 7,08-7,50 arasında değişmiştir. Farklı CO₂ ve sıcaklık koşulları altında değerlendirme yapıldığında 360 ppm'lik seride sıcaklık artışıyla birlikte kısmen bir azalma ancak normal koşulların olduğu deneme serisinde ise belirgin bir azalma tespit edilmiştir (Şekil 43). 600 ve 760 ppm'lik CO₂ serilerinde ise pH koşullarında deneme süresince çok fazla bir değişim gözlenmezken 360 ppm'lik seriye göre pH değerlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir (Şekil 44-45).



Şekil 43. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait pH miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

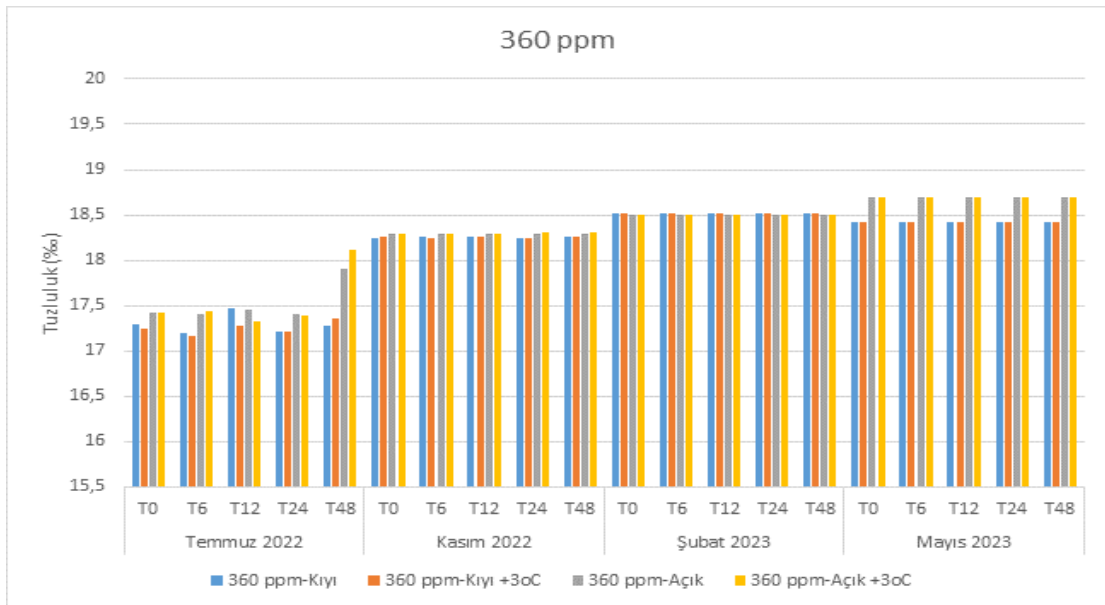


Şekil 44. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait pH miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

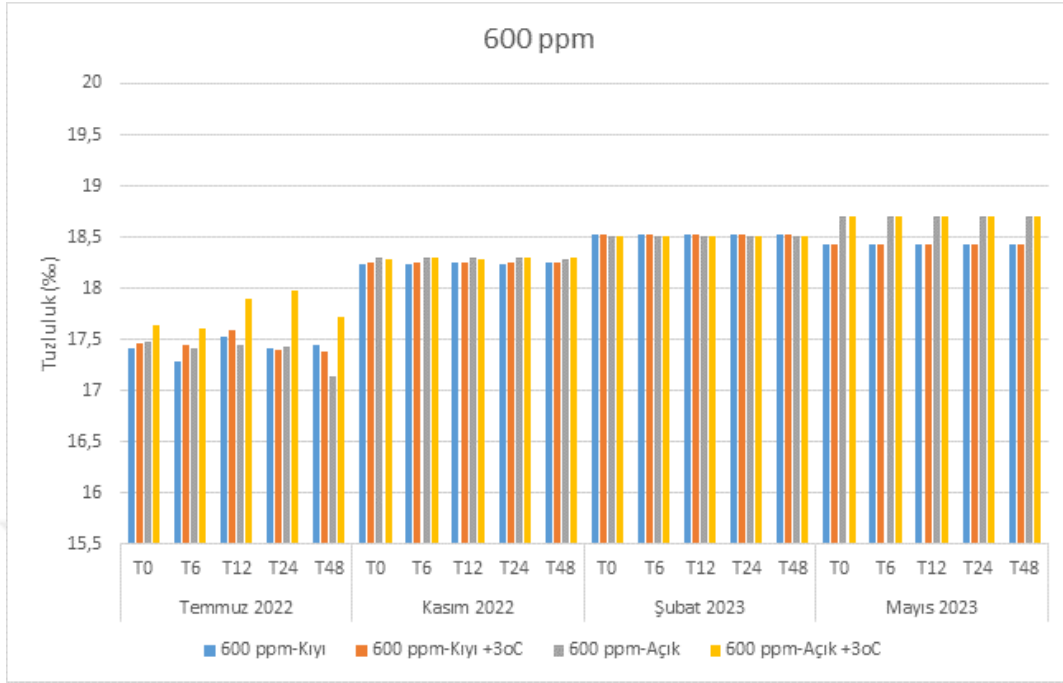


Şekil 45. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait pH miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

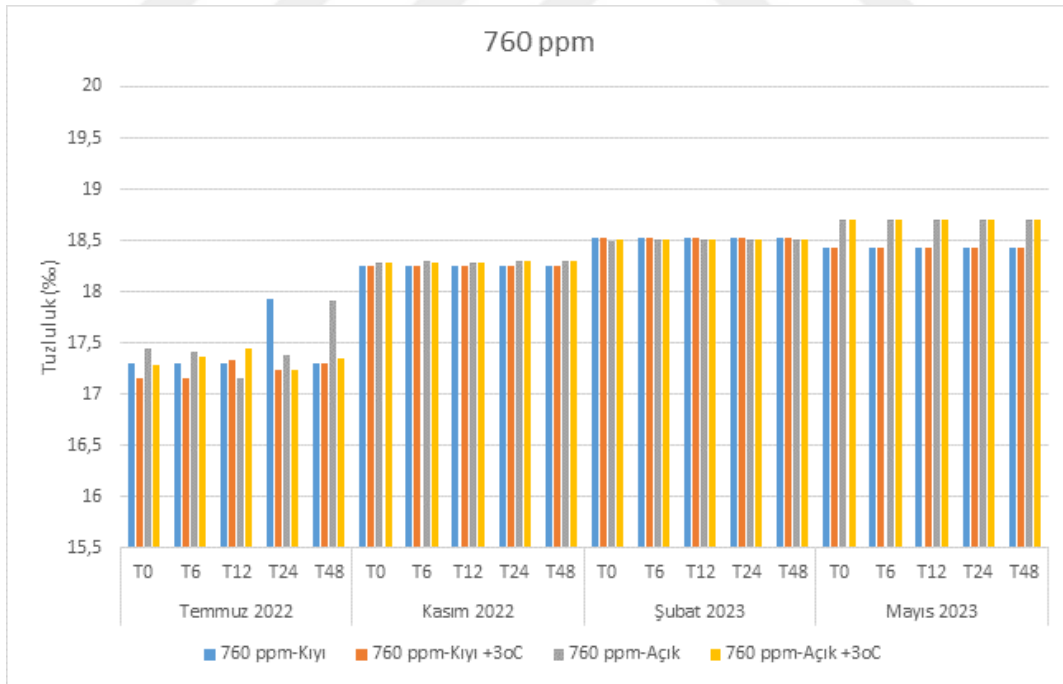
Çalışma süresince tuzluluk değişimleri zamana bağlı olarak %17,14-18,70 arasında değişim göstermiştir (Şekil 46-48). Denemeler süresince Temmuz 2022 hariç bütün mevsimlerde tuzluluk değerlerinde kısmen de olsa artışlar tespit edilmiştir. Bölgesel olarak kıyisal bölge tuzluluk değeri %17,16-18,52 arasında değişirken açık istasyon tuzluluk değeri %17,14-18,70 arasında değişim göstermiştir.



Şekil 46. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait tuzluluk miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

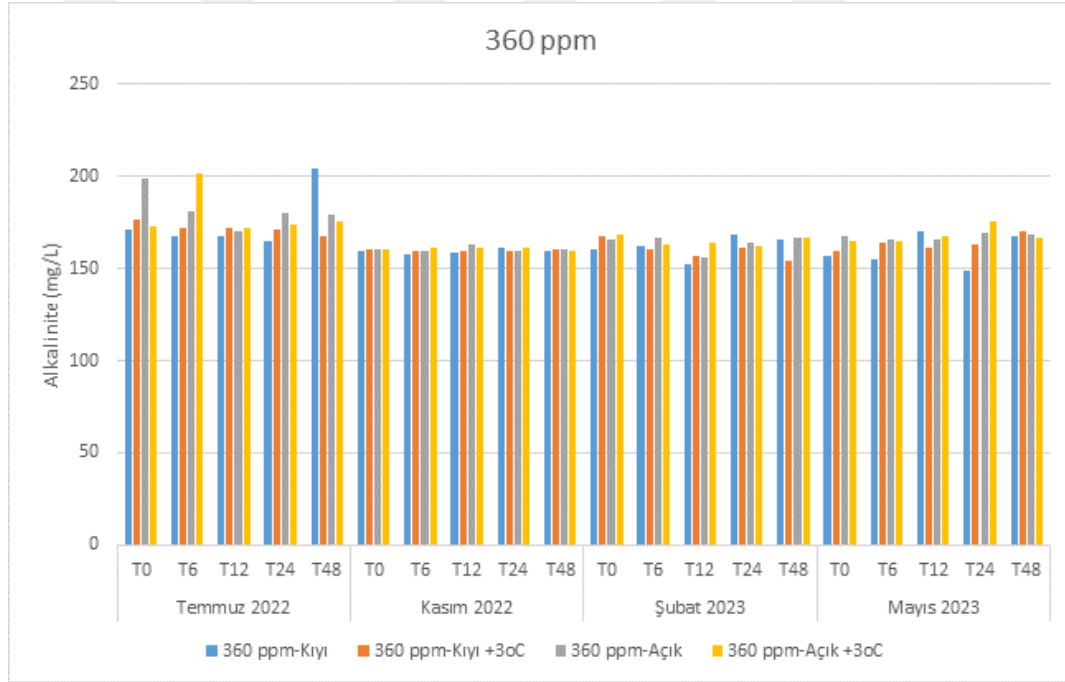


Şekil 47. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait tuzluluk miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

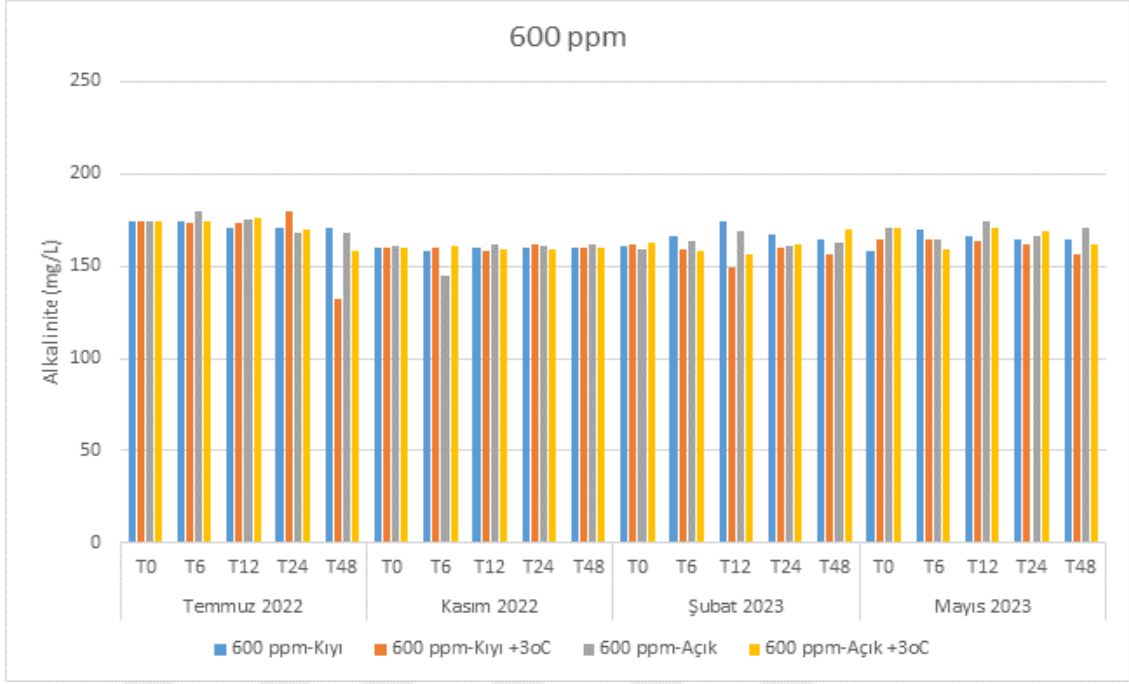


Şekil 48. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait tuzluluk miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

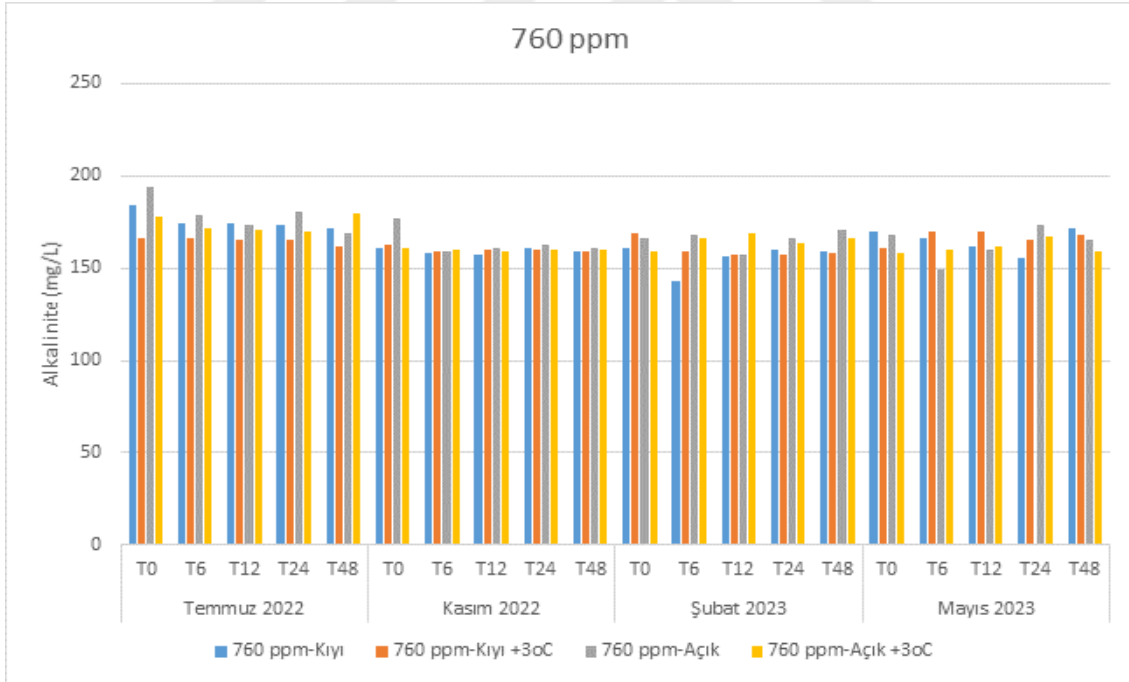
Çalışma süresince toplam alkalinite 132-204 mg/L arasında değişim göstermiştir (Şekil 49-51). Bölgesel anlamda bir değerlendirme yapıldığında ise kıyusal bölgenin alkalinite değişimi 132-204 mg/L arasında olurken açık istasyon için 144-202 mg/L arasında gerçekleşmiştir. Farklı CO₂ ve sıcaklık koşulları açısından bir değerlendirme yapıldığında ise 360 ppm'lik serilerde 149-204 mg/L arasında değişen alkalinite değerleri sıcaklığa bağlı olarak kıyusal bölge için denemelerin sonuna doğru artış eğilimi göstermiştir (Şekil 49). 600 ve 760 ppm'lik serilerde ise sırasıyla alkalinite değerleri 132-180 mg/L ve 143-194 mg/L arasında değişim göstermiştir (Şekil 50-51). Bu serilerde ise denemelerin sonuna doğru alkalinite değerleri kısmen de olsa azalma eğilimine girmiştir.



Şekil 49. 360 ppm'lik kontrol grubuna ait alkalinite miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



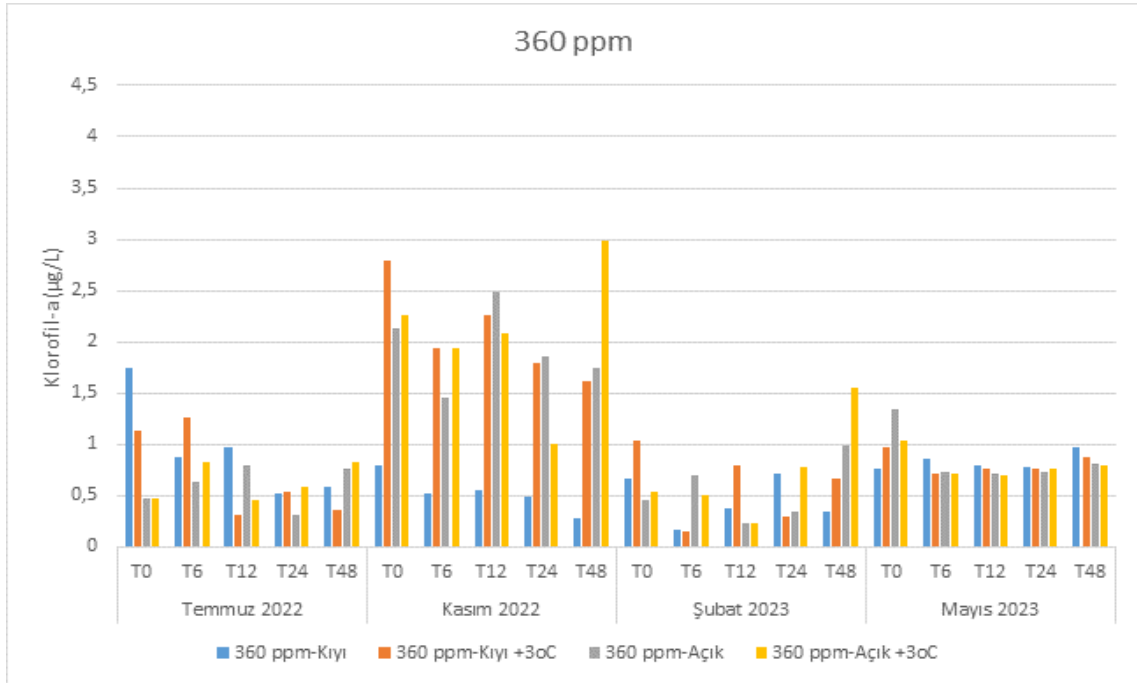
Şekil 50. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait alkalinite miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



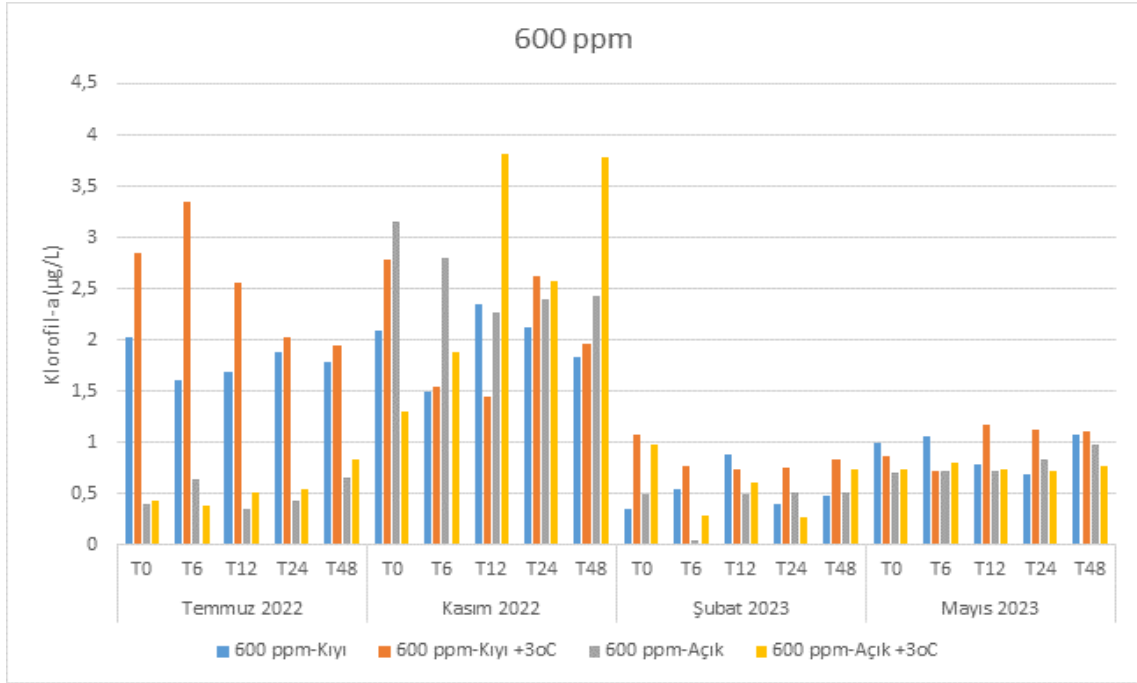
Şekil 51. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait alkalinite miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

Klorofil-a konsantrasyonu çalışma süresince 0,05-3,82 $\mu\text{g/L}$ arasında değişim göstermiştir (Şekil 52-54). Bölgesel olarak kıyısal bölgenin (0,14-3,35 $\mu\text{g/L}$) açık

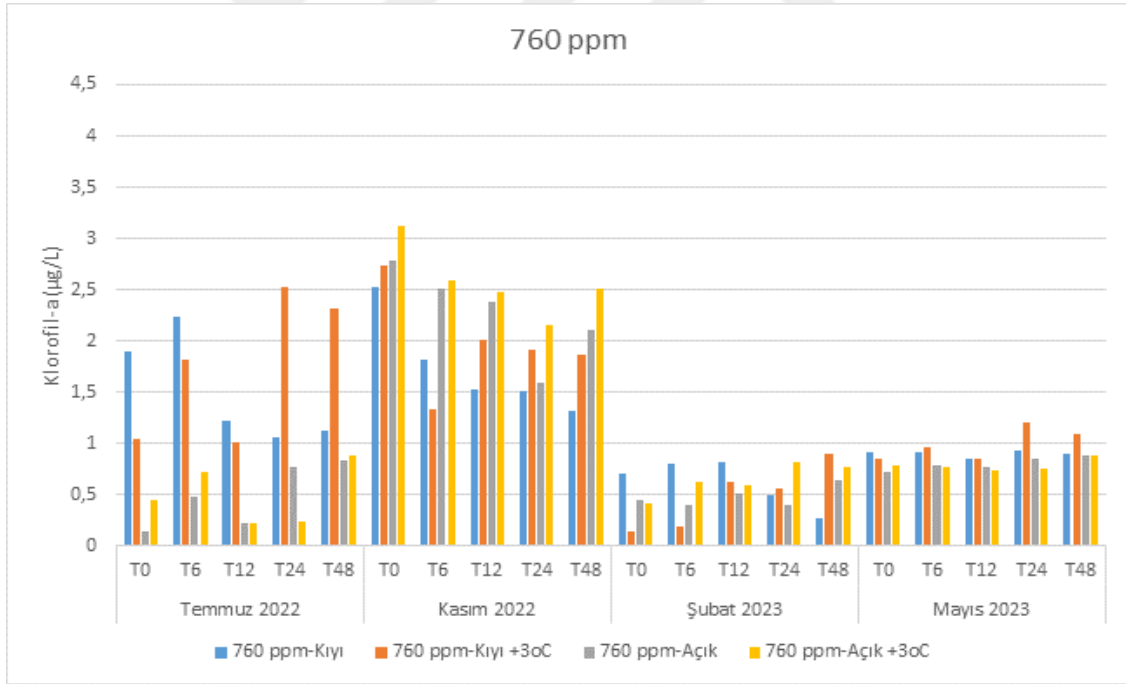
bölgeden (0,04-0,82 $\mu\text{g/L}$) bazı dönemlerde daha az üretken olduğu tespit edilmiştir. Mevsimsel olarak bir değerlendirme yapıldığında ise Temmuz ve Kasım örnekleme dönemlerinde çok yüksek olan klorofil-a konsantrasyonlarının bütün CO₂ serilerinde devam eden örnekleme dönemlerinde önemli oranlarda düştüğü tespit edilmiştir. Farklı CO₂ ve sıcaklık koşulları altındaki klorofil-a değişimi incelendiğinde ise 600 (0,04-3,82 $\mu\text{g/L}$) ve 760 ppm'lik (0,14-3,12 $\mu\text{g/L}$) serilerdeki klorofil-a konsantrasyonlarının 360 ppm'lik (0,14-2,98 $\mu\text{g/L}$) seriden genel olarak yüksek olduğu ve kıyı ve açık istasyonların bariz bir şekilde ayrıldığı dikkat çekmiştir.



Şekil 52. 360 ppm'lik kontrol grubuna ait klorofil-a miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



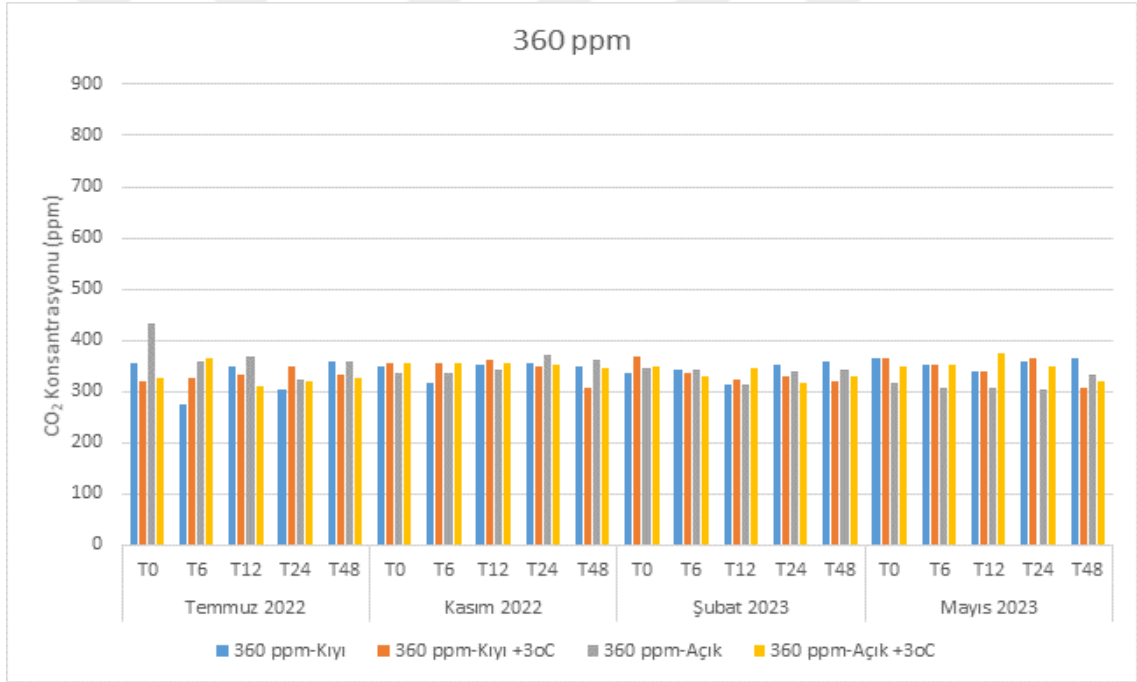
Şekil 53. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait klorofil-a miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



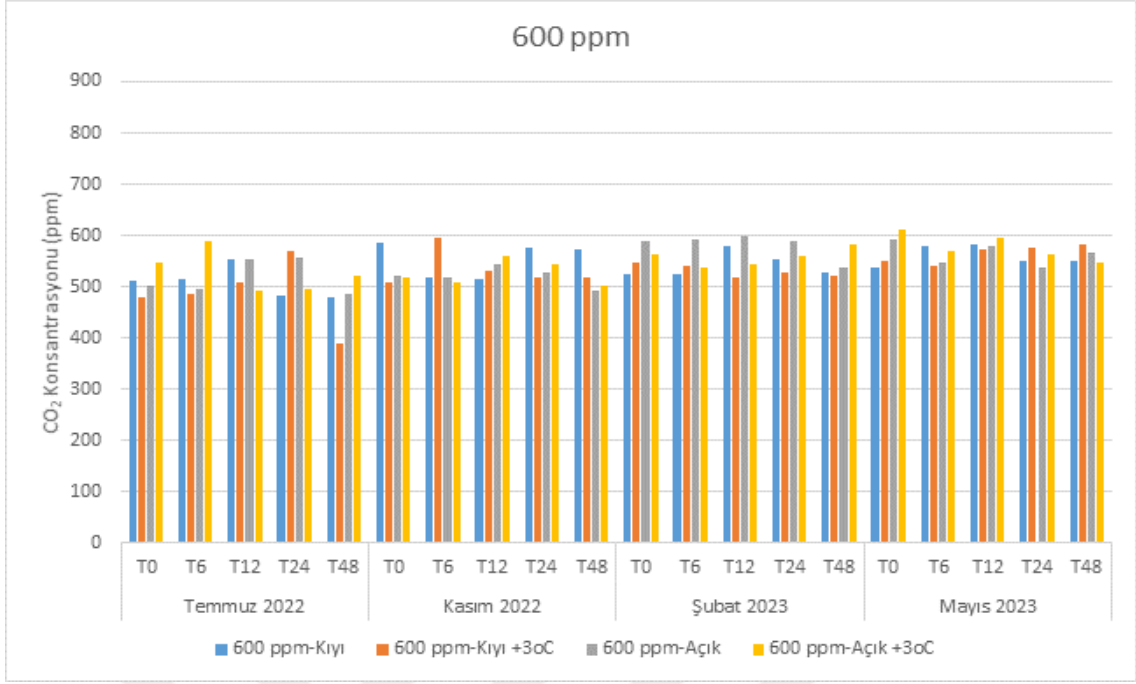
Şekil 54. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait klorofil-a miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

Denemeler süresince zenginleştirmesi yapılan serilerdeki CO₂ konsantrasyon değişimleri Şekil 50-53’te sunulmuştur. Genel olarak CO₂ konsantrasyonu 276-790 ppm arasında değişim göstermiştir. İstasyonlar açısından bir kıyaslama yapıldığında

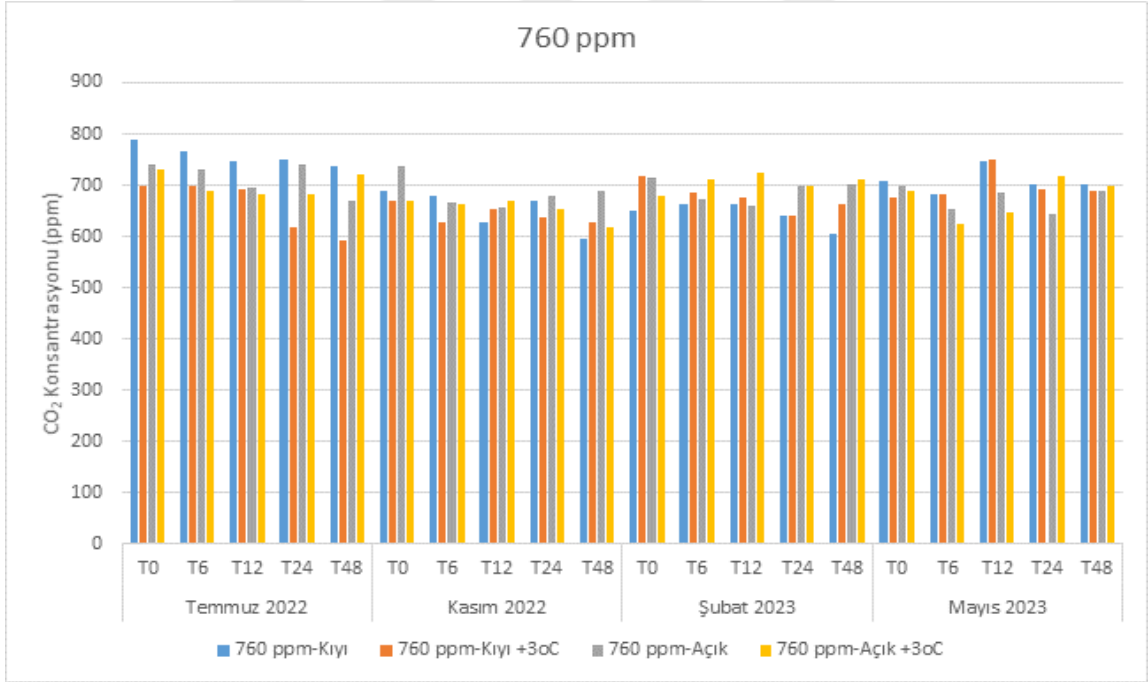
ise kıyı istasyonunda 276-790 ppm olan CO₂ konsantrasyonu açık istasyonda 305-741 ppm arasında değişim göstermiştir. Sıcaklık artışına bağlı değişimler incelendiğinde ise normal koşullar ile +3°C koşullarının ayrıldığı ve benzer eğilimler sergilediği dikkat çekmektedir. Denemeler başlangıcında normal koşullar altında 360 ppm’lik seri zaman içerisinde iniş-çıkışlar sergilerken sıcaklık artışına bağlı olarak daha tutarlı ve kısmen artışlar sergilemiştir (Şekil 55). 600 ppm’lik seride ise denemelerin başlangıcında artış gözlenmiş zaman içerisinde azalma eğilimi tespit edilmiştir (Şekil 56). 760 ppm’lik serinin tamamında denemenin başlangıcından itibaren azalma eğilimi gözlenirken bu eğilim normal koşulların olduğu serilerde daha belirgin bir şekilde kendini göstermiştir (Şekil 57).



Şekil 55. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait CO₂ miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



Şekil 56. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait CO₂ miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



Şekil 57. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait CO₂ miktarlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

3.4. Fitoplankton Kommunité Yapısı

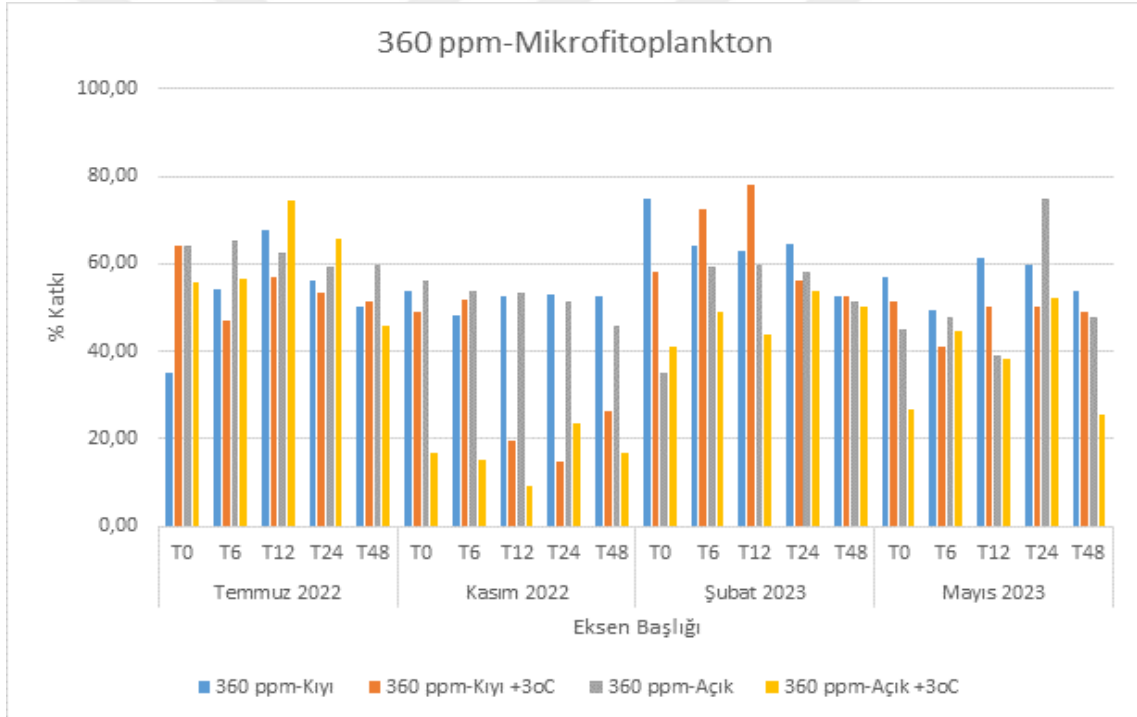
3.4.1. CO₂-Fitoplankton İlişkisi

Denemeler süresince fitoplankton boy gruplarının toplam fitoplanktona yaptığı katkı farklı CO₂ rejimi altında zaman içerisinde önemli değişimler göstermiştir (Şekil 58-66). Bölgede genel anlamda mikrofitoplankton (%9-93) baskın bir yapı sergilerken, bunu nanofitoplankton (%1-77) ve pikofitoplankton (%3-75) takip etmiştir. Bölgesel anlamda bir değerlendirme yapıldığında ise kıyısal bölgenin fitoplanktonik aktivitesinin özellikle mikro-ve nanofitoplankton açısından açık istasyondan yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak +3°C sıcaklık koşullarında pikofitoplankton katkısı artarken diğer grup oranları benzer bir eğilim göstermiştir.

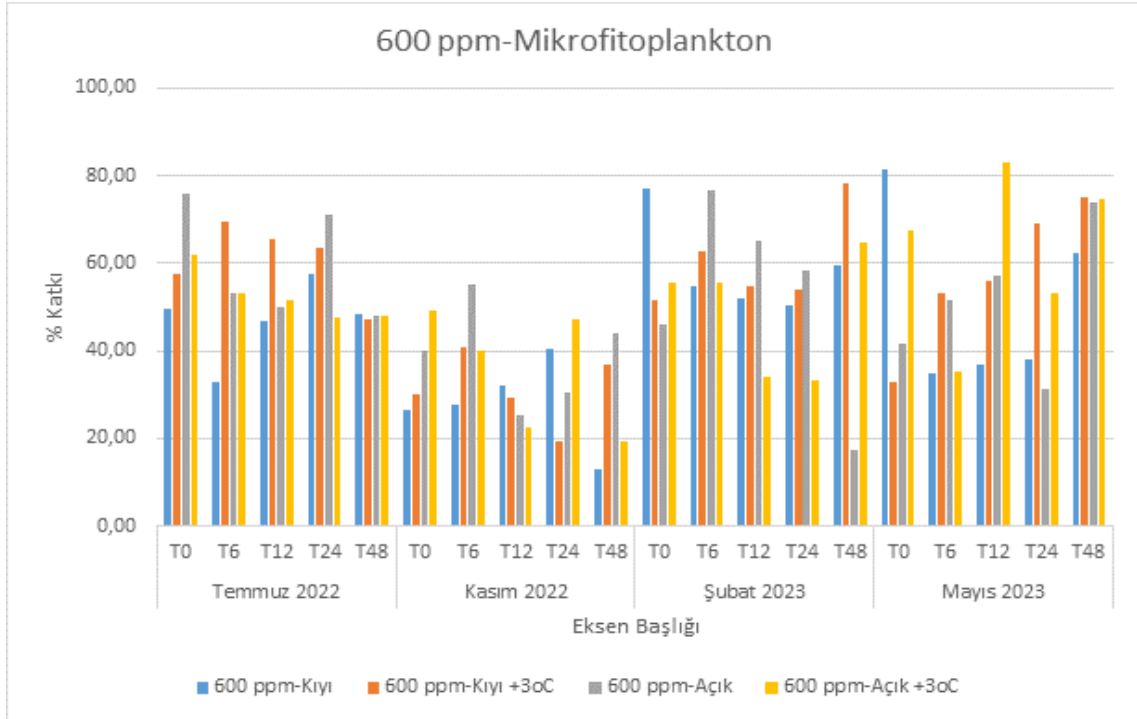
360 ppm'lik deneme gruplarında fitoplankton boy grup oranlarının katkısı %5-78 arasında değişim gösterirken, mikro-, nano- ve pikofitoplankton için sırasıyla %9-78; %5-67 ve %10-10 arasında gerçekleşmiştir (Şekil 58-66). Sıcaklık artışına bağlı olarak nano- ve pikofitoplankton katkısı artarken mikrofitoplankton katkısı sabit kalmıştır. Mevsimsel açıdan bir değerlendirme yapıldığında ise fitoplankton boy gruplarının katkı oranları önemli oranda değişim göstermiştir. Kasım 2022 dönemi hariç diğer dönemlerde mikrofitoplankton baskınlığı dikkat çekmiştir. Kasım 2022 döneminde nanofitoplankton (%26-67) öne çıkan grup olurken bunu mikro-(%9-56) ve pikofitoplankton (%10-41) takip etmiştir.

600 ppm'lik deneme serisinde ise fitoplankton katkı oranları %3-83 arasında değişim gösterirken mikrofitoplankton (%13-83) öne çıkan grup olmuştur. Bunu nanofitoplankton (%3-75) takip etmiştir. Pikofitoplankton (%3-61) ise en az temsil edilen grup olmuştur (Şekil 58-66). CO₂-sıcaklık ilişkisi incelendiğinde ise sıcaklık artışı pikofitoplankton katkısının kısmen artmasına neden olmuştur. Mevsimsel açıdan bir değerlendirme yapıldığında ise fitoplankton boy gruplarının katkı oranları 360 ppm'lik seriye benzer bir eğilim göstermiştir. Kasım 2022 örnekleme döneminde nanofitoplankton (%21-75) öne çıkan grup olurken diğer dönemlerde mikrofitoplankton baskınlığı dikkat çekmiştir. 600 ppm'lik seride özellikle boy gruplarından nano- ve mikrofitoplankton baskınlığı 360 ppm'lik seriye göre artış eğilimi göstermiştir.

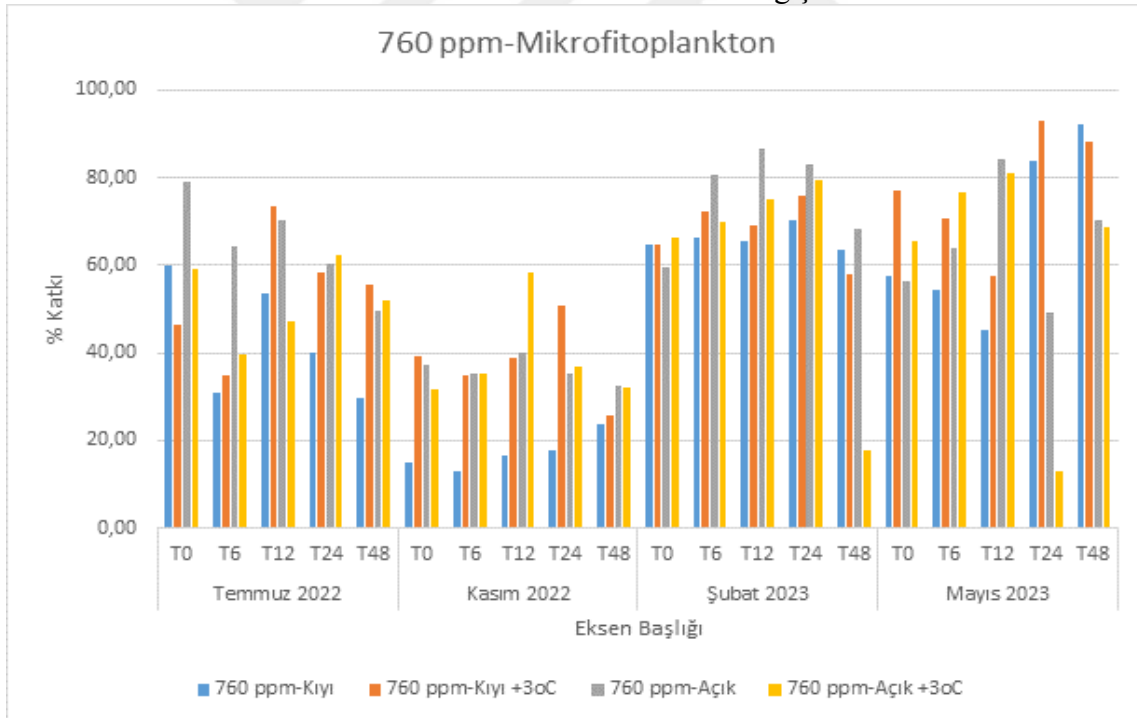
760 ppm'lik CO₂ rejimi altında fitoplankton katkı oranları kısmen artış göstermiş ve oranları mikro-, nano- ve pikofitoplankton için sırasıyla %13-93; %1-67 ve %3-77 arasında değişim göstermiştir (Şekil 58-66). Sıcaklık artışıyla beraber nano- ve pikofitoplankton katkısı azalırken mikrofitoplankton katkısı artış göstermiştir. Mevsimsel açıdan bir değerlendirme yapıldığında ise fitoplankton boy gruplarının katkı oranları 360 ve 600 ppm'lik serilere benzer bir eğilim göstermiştir. Kasım 2022 döneminde nanofitoplankton katkısı öne çıkmış ve bu oran önceki CO₂ serilerine göre artış trendi göstermiş ve %35-67 arasında değişim göstermiştir. Diğer örnekleme dönemlerinde ise mikrofitoplankton baskın grup olup katkı oranları %93 seviyelerine kadar artmıştır.



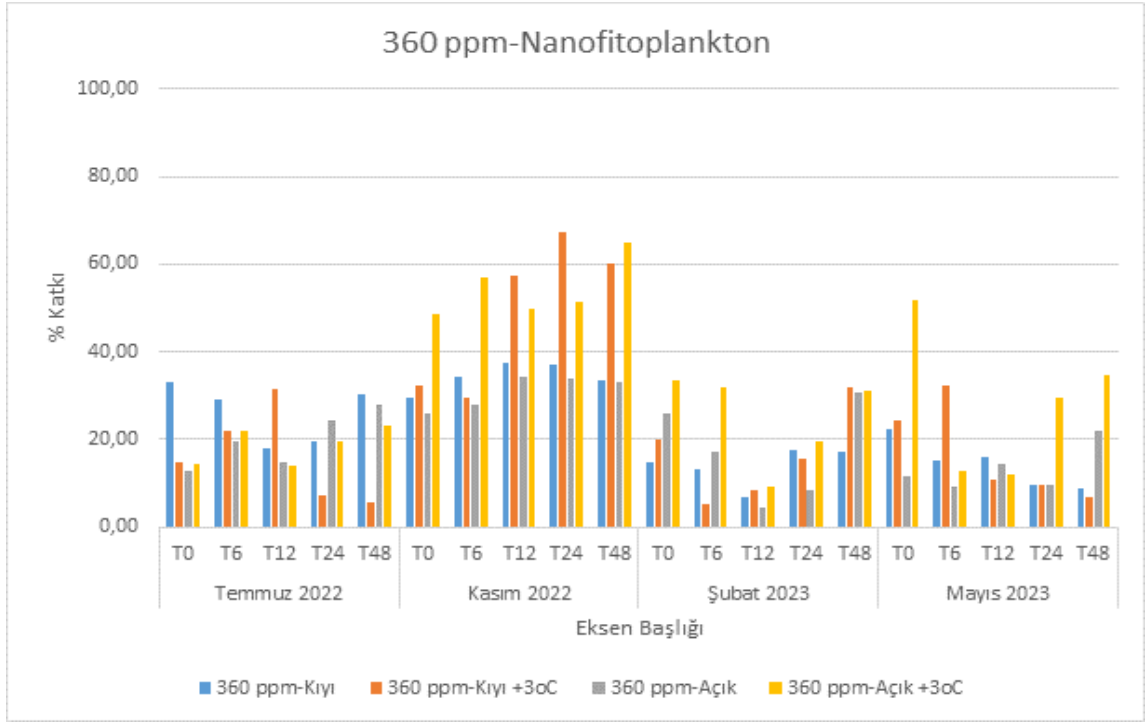
Şekil 58. 360 ppm'lik kontrol grubuna ait mikrofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



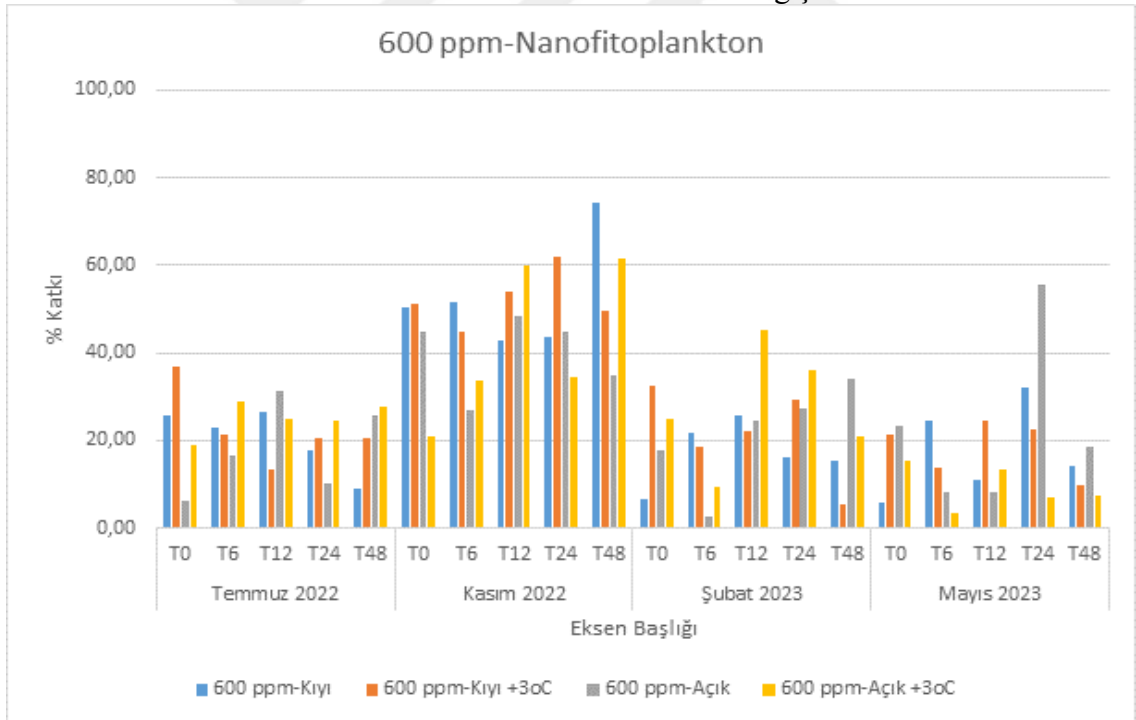
Şekil 59. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait mikrofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



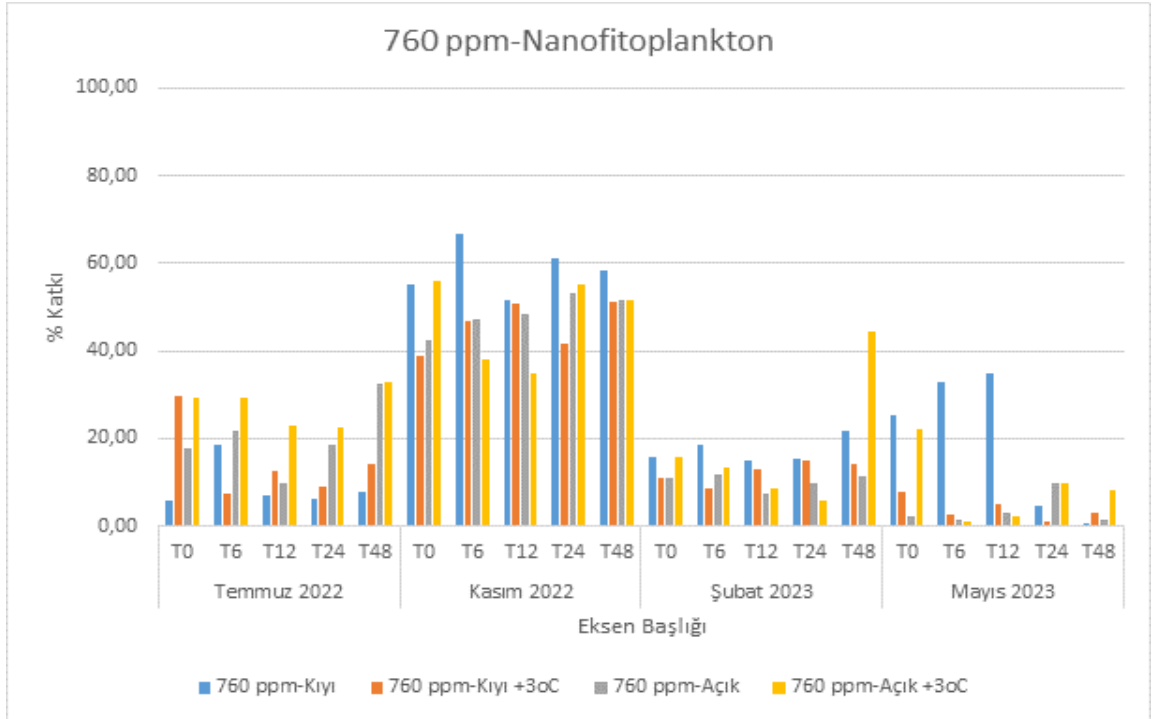
Şekil 60. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait mikrofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



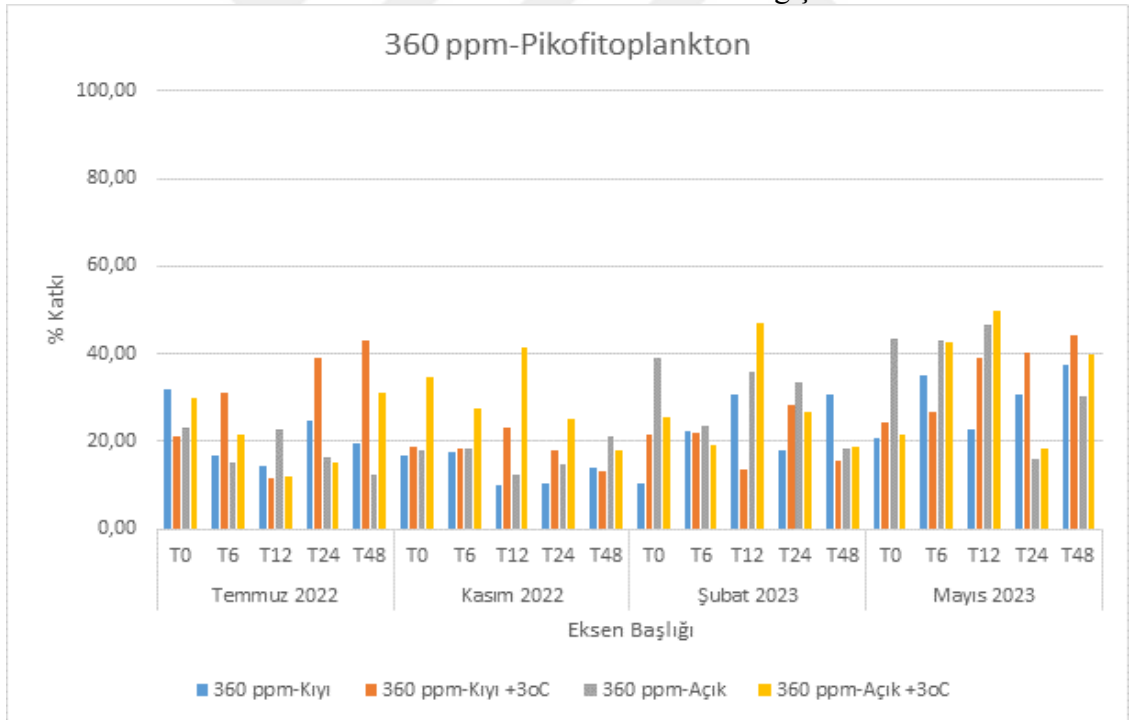
Şekil 61. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait nanofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



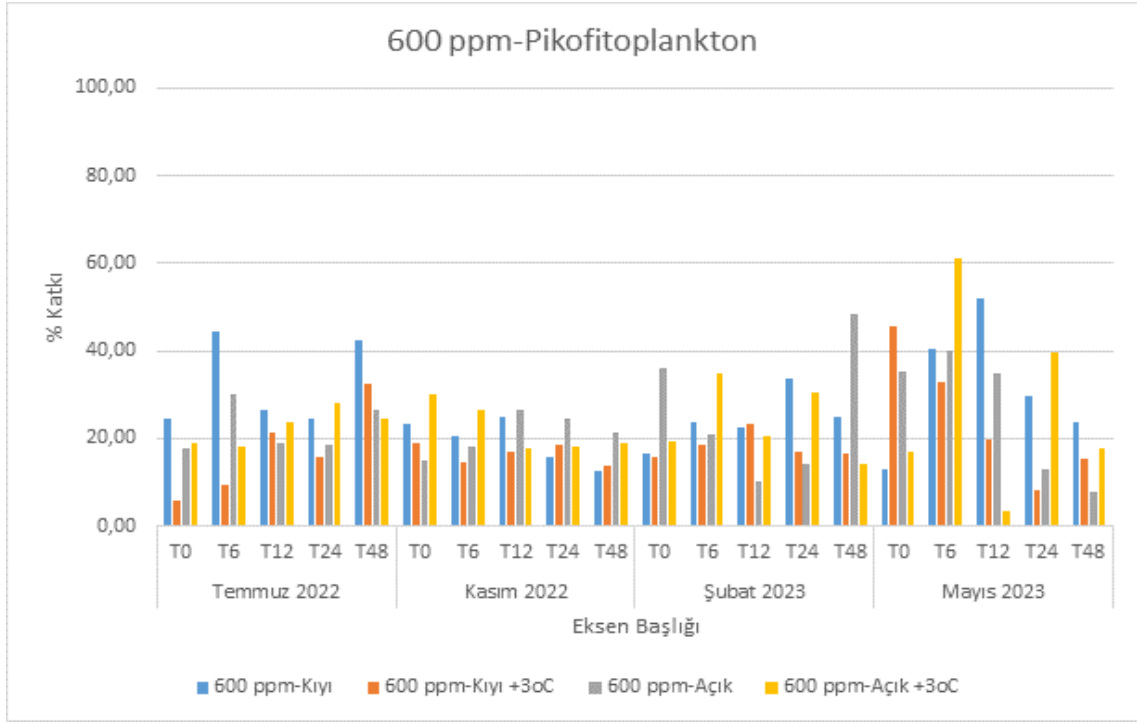
Şekil 62. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait nanofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



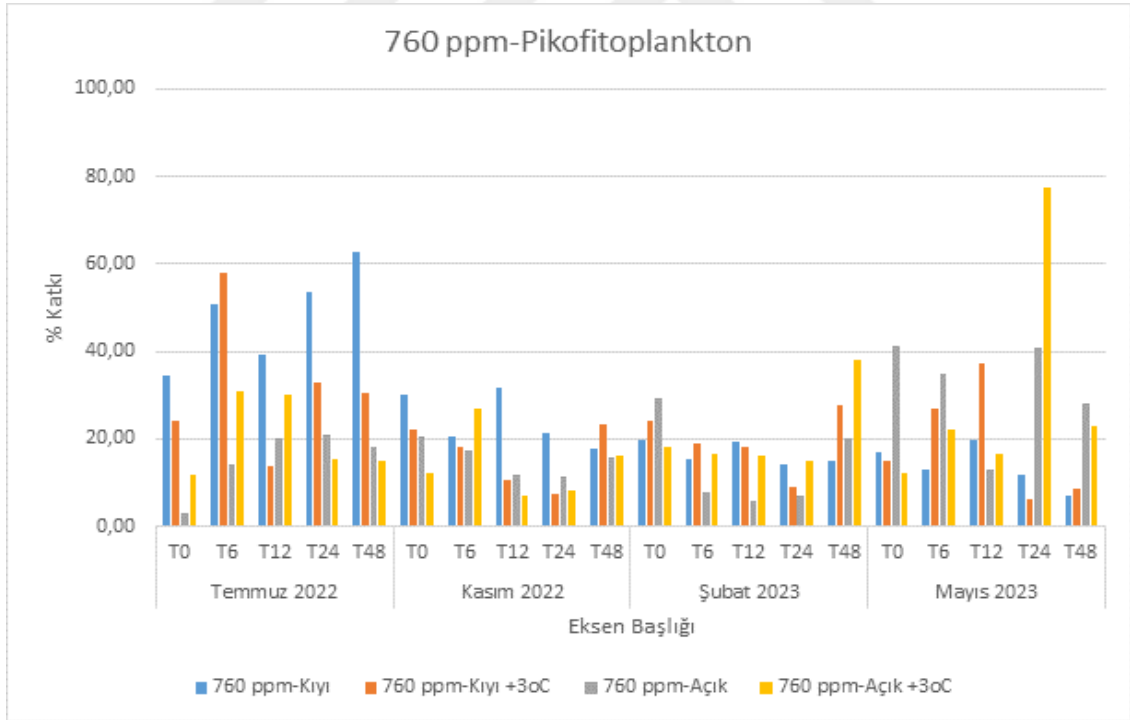
Şekil 63. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait nanofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



Şekil 64. 360 ppm’lik kontrol grubuna ait pikofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



Şekil 65. 600 ppm’lik kontrol grubuna ait pikofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi



Şekil 66. 760 ppm’lik kontrol grubuna ait pikofitoplankton katkı oranlarının denemeler süresince mevsimsel değişimi

3.4.2. Kalitatif ve Kantitatif Fitoplankton Değişimi

Çalışmanın yürütüldüğü dönem içerisinde istasyonlarda toplam 122 adet fitoplankton türü tespit edilmiştir (Tablo 4). Tespit edilen türlerden 66'sını Dinophyceae türleri, 50'sini Bacillariophyceae türleri ve 6'sını ise diğer taksonomik gruplar oluşturmuştur. İstasyonlarda genel olarak Dinophyceae türlerinin baskınlığı dikkat çekmektedir.

Mevsimsel açıdan bir değerlendirme yapıldığında yaz döneminde genel olarak dinoflagellat türlerinin baskınlığı dikkat çekerken bu baskınlık artan CO₂ konsantrasyonu ile bazı türlerin daha da baskın hale geçmesine neden olmuştur. Sonbahar döneminde dinoflagellat tür baskınlığı öne çıkarken kış ve ilkbahar dönemlerinde diatom grupları öne çıkmıştır. Bölgesel olarak kıyı istasyonu açık istasyona göre gerek kalitatif ve gerekse kantitatif anlamda fitoplankton baskınlığı açısından dikkat çekmektedir. Sıcaklık artışına bağlı olarak bir değerlendirme yapıldığında ise açık bölgenin fitoplankton tür sayısında 360 ppm'lik seride artış tespit edilirken diğer CO₂ serilerinde ise tür sayılarında azalışlar gözlemlenmiştir.

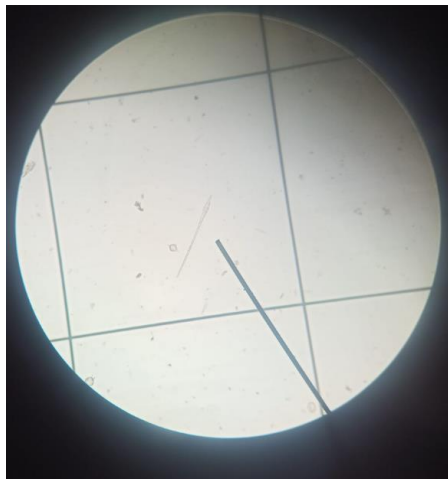
Yaz ve sonbahar dönemlerinde *Achnanthes* sp., *Chaetoceros diadema*, *Coscinodiscus granii*, *Coscinodiscus radiatus*, *Ditylum brightwelli*, *Licmophora* sp., *Proboscia alata*, *Pseudonitzschia pungens*, *Rhizosolenia calcaravis*, *Thalassiosira* sp. öne çıkan başlıca diatom türleri olurken; *Ceratium furca*, *Ceratium fusus*, *Ceratium tripos*, *Dinopysis acuminata*, *Dinopysis caudata*, *Dinopysis ovata*, *Dinopysis rodundata*, *Gynodinium sanguenum*, *Gonyaulax* sp., *Gyrodinium* sp., *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum minimum*, *Protoperidinium oblongum*, *Protoperidinium pallidum*, *Protoperidinium stenii*, *Protoperidinium* sp. ise öne çıkan dinoflagellat türleri olmuştur. Diğer fitoplanktonik gruplardan kokolitofor *Emiliana huxleyi* ise önce çıkan tür olmuştur.

Kış ve ilkbahar dönemlerinde Bacillariophyceae'den *Chaetoceros danicus*, *Coscinodiscus radiatus*, *Coscinodiscus diadema*, *Nitzschia longissima*, *Rhizosolenia calcaravis*, *Skeletonema* sp., *Thalassionema nitzschioides* türleri önce çıkan türlerden bazılarıdır. Dinophyceae türlerinden ise *Alexandrium minutum*, *Ceratium furca*, *Ceratium fusus*, *Ceratium tripos*, *Dinopysis acuminata*, *Dinopysis acuta*, *Dinopysis caudata*, *Dinopysis fortii*, *Dinopysis hastata*, *Gymnodinium sanguineum*,

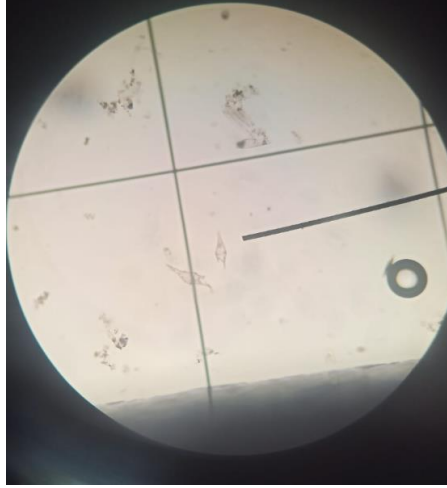
Prorocentrum compressum, *Prorocentrum micans*, *Prorocentrum minimum*, *Protoperidinium depressum*, *Protoperidinium divergens*, *Protoperidinium steinii*, *Scripsiella triquedum* öne çıkan türlerdir. Diğer sistematik gruplardan ise *Emiliana huxleyi* türü en fazla gözlenen tür olmuştur.



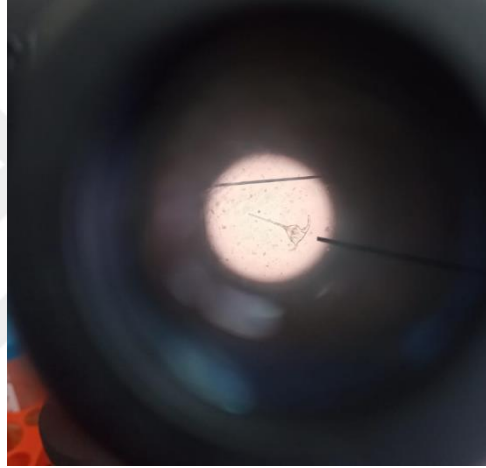
Şekil 67. Mikroskobik hücre sayımı ve fitoplankton tür teşhisi



Şekil 68. *Ceratium fusus* örneği



Şekil 69. *Ceratium furca* örneği



Şekil 70. *Ceratium tripos* örneği

Tablo 4.Örnekleme döneminde belirlenen fitoplankton türlerinin mevsimlere göre dağılımı

Fitoplankton Türleri	Temmuz 2022	Kasım 2022	Şubat 2023	Mayıs 2023
Bacillariophyceae				
<i>Achnanthes sp.</i>	+	+		+
<i>Cerataulina bergonii</i>			+	
<i>Chaetoceros sp.</i>		+		
<i>Chaetoceros affinis</i>	+	+	+	
<i>Chaetoceros eibonii</i>		+	+	+
<i>Chaetoceros curvisetus</i>		+	+	
<i>Chaetoceros decipiens</i>	+	+	+	+
<i>Chaetoceros diadema</i>	+			
<i>Chaetoceros socialis</i>	+	+		
<i>Chaetoceros sp.</i>	+	+	+	+
<i>Coscinodiscus granii</i>	+	+	+	+
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	+	+	+	+
<i>Coscinodiscus sp.</i>	+			
<i>Cylindrotheca closterium</i>	+	+	+	
<i>Cyclotella coepia</i>		+	+	+
<i>Cyclotella sp.</i>	+	+	+	+
<i>Ditylum brightwellii</i>			+	
<i>Fragilaria crotonensis</i>	+		+	+
<i>Gomphonema sp.</i>				+
<i>Hemiaulus siensis</i>			+	
<i>Licmophora sp.</i>	+		+	+
<i>Melosira nummuloides</i>			+	
<i>Navicula lenceolata</i>	+	+		
<i>Nitzschia closterium</i>	+	+		+

Tablo 5 (Devam). Örnekleme döneminde belirlenen fitoplankton türlerinin mevsimlere göre dağılımı

<i>Nitzschia longisima</i>		+	+	+
<i>Nitzschia sigmadae</i>			+	
<i>Nitzschia sp.</i>		+	+	
<i>Pleurasigma sp.</i>				+
<i>Proboscia sp.</i>	+	+		
<i>Proboscia alata</i>	+		+	+
<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>	+	+	+	+
<i>Pseudosolenia calcaravis</i>	+	+	+	+
<i>Pseudonitzschia pungens</i>		+		+
<i>Pseudonitzschia seriata</i>		+	+	+
<i>Pseudonitzschia sp.</i>		+		+
<i>Rhizosolenia calcaravis</i>	+	+		
<i>Rhizosolenia setigera</i>		+	+	+
<i>Striatella sp.</i>	+	+	+	+
<i>Surirella sp.</i>	+	+		
<i>Thalassiosira sp.</i>	+	+	+	+
<i>Thalassiosira anguste-linata</i>	+	+	+	+
<i>Thalassiosira gravis</i>	+	+	+	+
<i>Thalassiothrix mediterranea</i>			+	
<i>Thalassiothrix longissima</i>			+	
<i>Thalassiothrix sp.</i>	+			+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>		+		
<i>Thalassionema sp.</i>	+	+	+	+
<i>Tropidoneis sp.</i>	+		+	
<i>Triceratium sp.</i>	+	+		+
Tanımlanamayan diatom	+	+	+	+

Tablo 6 (Devam). Örnekleme döneminde belirlenen fitoplankton türlerinin mevsimlere göre dağılımı

Dinophyceae				
<i>Alexandrium minutum</i>	+	+		
<i>Alexandrium ostenfeldii</i>			+	
<i>Alexandrium sp.</i>	+		+	
<i>Amphidinium sp.</i>		+	+	+
<i>Amphidinium sphonoides</i>	+	+		
<i>Ceratium furca</i>	+	+	+	+
<i>Ceratium fusus</i>	+	+	+	+
<i>Ceratium tripos</i>	+	+	+	+
Dinoflagellat geçici kist	+	+	+	+
<i>Dinophysis ovata</i>	+	+	+	+
<i>Dinophysis norvegica</i>	+	+		+
<i>Dinophysis acuminata</i>	+			+
<i>Dinophysis acuta</i>	+	+	+	+
<i>Dinophysis</i>	+	+	+	+
<i>Dinophysis rodundata</i>	+	+	+	+
<i>Dinophysis ovum</i>		+	+	+
<i>Dinophysis hastata</i>				
<i>Dinophysis caudata</i>	+	+	+	+
<i>Diplopsalis lenticula</i>	+	+	+	
<i>Dinophysis sp.</i>	+	+	+	+
<i>Diplopsalis sp.</i>			+	+
<i>Dissodinium pseudolunaata</i>			+	+
<i>Gonyaulax sp.</i>	+	+	+	+
<i>Gymnodium sp.</i>	+	+	+	+
<i>Gymnodium sanguenum</i>		+	+	+
<i>Gyrodinium sp.</i>	+	+	+	+

Tablo 7 (Devam). Örnekleme döneminde belirlenen fitoplankton türlerinin mevsimlere göre dağılımı

<i>Heterocapsa ratundata</i>				
<i>Heterocapsa triquetra</i>				+
<i>Heterodinium sp.</i>	+	+		
<i>Oblea rotundata</i>	+			
<i>Lingulidinium polyhedra</i>			+	+
<i>Noctiluca scintillans</i>		+	+	+
<i>Peridinium sp.</i>	+	+	+	+
<i>Prorocentrum compressum</i>	+		+	+
<i>Prorocentrum lima</i>	+	+		+
<i>Prorocentrum micans</i>	+	+	+	+
<i>Prorocentrum minimum</i>	+	+	+	+
<i>Prorocentrum sigmoides</i>		+		
<i>Protoceratium sp.</i>				
<i>Protoceratium reticulatum</i>	+	+	+	+
<i>Prorocentrum balticum</i>	+	+	+	+
<i>Proto-peridinium bipes</i>			+	+
<i>Proto-peridinium balechi</i>	+		+	
<i>Proto-peridinium brevipes</i>			+	
<i>Proto-peridinium conicum</i>		+	+	+
<i>Proto-peridinium curtipes</i>	+	+		+
<i>Proto-peridinium crassipes</i>	+	+	+	
<i>Proto-peridinium depressum</i>	+	+	+	+
<i>Proto-peridinium divergens</i>	+	+		
<i>Proto-peridinium granii</i>	+	+	+	+
<i>Proto-peridinium oblongum</i>	+	+		+
<i>Proto-peridinium obtusum</i>	+	+		+
<i>Proto-peridinium pallidum</i>	+	+	+	

Tablo 8 (Devam). Örnekleme döneminde belirlenen fitoplankton türlerinin mevsimlere göre dağılımı

<i>Protoperidinium pellucidum</i>	+			+
<i>Protoperidinium rotundata</i>	+	+		
<i>Protoperidinium sabinerme</i>	+	+		
<i>Protoperidinium sp.</i>	+		+	
<i>Protoperidinium steni</i>		+	+	
<i>Protoperidinium minitum</i>	+	+	+	+
<i>Pyrophacus horologium</i>	+	+	+	+
<i>Pyrophacus steinii</i>	+			+
<i>Protoproctella sp.</i>	+	+		
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	+	+		+
<i>Scrippsiella trochoidea kist</i>	+	+	+	+
Tanımlanamayan Dinoflagellat	+	+	+	+
<i>Torodinium robustum</i>		+	+	+
<i>Torodinium sp.</i>			+	
Diğer taksonomik gruplar				
Silicoflagellates				
<i>Dictyocha speculum</i>			+	+
<i>Octonaria octatis</i>	+	+	+	+
Prymnesiophyta				
<i>Emiliana huxleyi</i>	+	+	+	+
Euglenoids				
<i>Euglena sp.</i>	+		+	+
<i>Eutreptia lanovii</i>				
Chlorophyta				
<i>Chlorella</i>			+	+

3.5. CO₂-Besin Elementi İlişkisi

Denemeler süresince besin elementi konsantrasyonları önemli oranda değişim göstermiştir. Deneylerin geneli açısından bir değerlendirme yapıldığında orto-fosfat, nitrit+nitrat, amonyak ve reaktif silikat için sırasıyla konsantrasyonlar 0,002-40,71 µM; 0,001-4,43 µM; 0,05-9,10 µM ve 1,36-37,44 µM arasında değişim göstermiştir (Şekil 71-82). Sıcaklık artışına bağlı olarak amonyak ve silikat hariç diğer besin elementi konsantrasyonları artış eğilimi sergilemiştir. Bölgesel anlamda bir değerlendirme yapıldığında ise kıyısal bölgenin besin elementi konsantrasyonlarının (orto-fosfat: 0,002-40,71 µM; nitrit+nitrat: 0,001-4,43 µM; amonyak: 0,01-5,69 µM ve silikat: 1,36-26,99 µM) amonyak ve silikat hariç açık bölgeden (orto-fosfat: 0,004-40,56 µM; nitrit+nitrat: 0,001-3,79 µM; amonyak: 0,01-9,10 µM ve silikat: 1,57-3,44 µM) yüksek olduğu tespit edilmiştir.

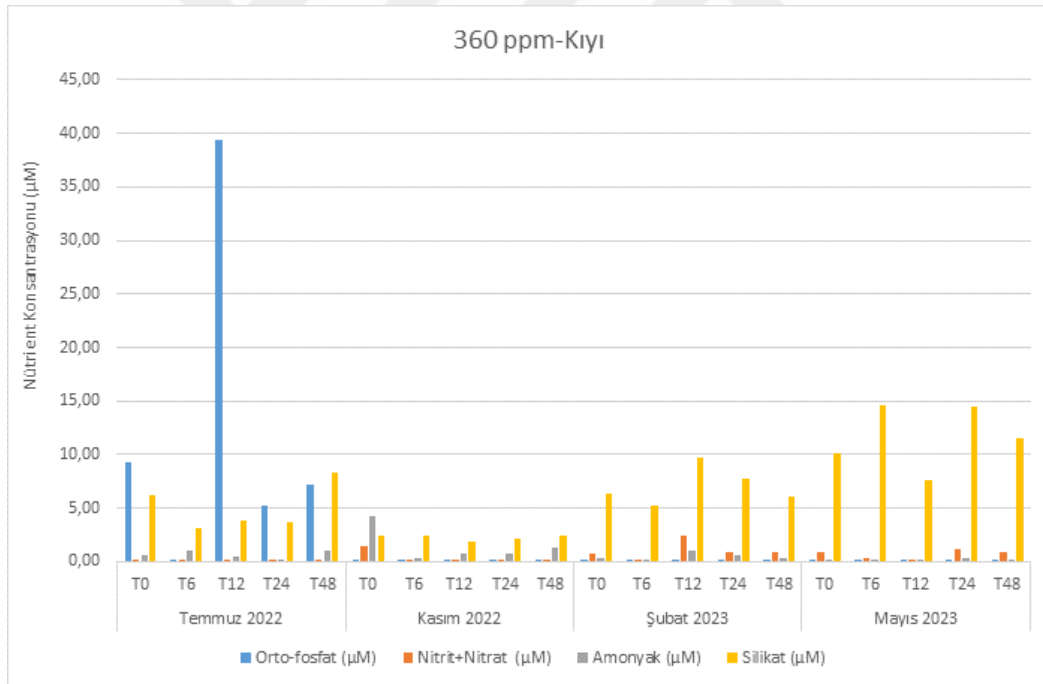
CO₂ konsantrasyonları açısından genel bir değerlendirme yapıldığında CO₂ konsantrasyonunun artışına bağlı olarak orto-fosfat ve amonyak konsantrasyonları sürekli bir artış eğiliminde olurken nitrit+nitrat ve silikat konsantrasyonları 760 ppm lik deneme grubunda azalmıştır. Sıcaklık-CO₂ ilişkisi incelendiğinde ise 360 ve 760 ppm’lik serilerde silikat, 600 ve 760 ppm’lik serilerde ise amonyak azalış eğilimi sergilemiştir.

360 ppm’lik deneme grubunda en yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen besin elementi orto-fosfat (0,05-39,48 µM) olurken sıcaklık artışına bağlı olarak konsantrasyonları çok değişiklik göstermemiştir. Ancak denemeler süresince farklı zaman dilimlerinde iniş-çıkışlar sergilemiştir (Şekil 71-74). Denemelerde tespit edilen ikinci en yüksek besin elementi reaktif silikat olup bunun konsantrasyonu 3,10-26,21 µM arasında değişim göstermiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak gerek kıyı ve gerekse açık deniz istasyonuna ait denemelerde nispeten düşüşler tespit edilmiştir. Amonyak ve nitrit+nitrat konsantrasyonları genelde düşük seyrederken sıcaklığa bağlı değişimler ise genelde sabit kalmıştır.

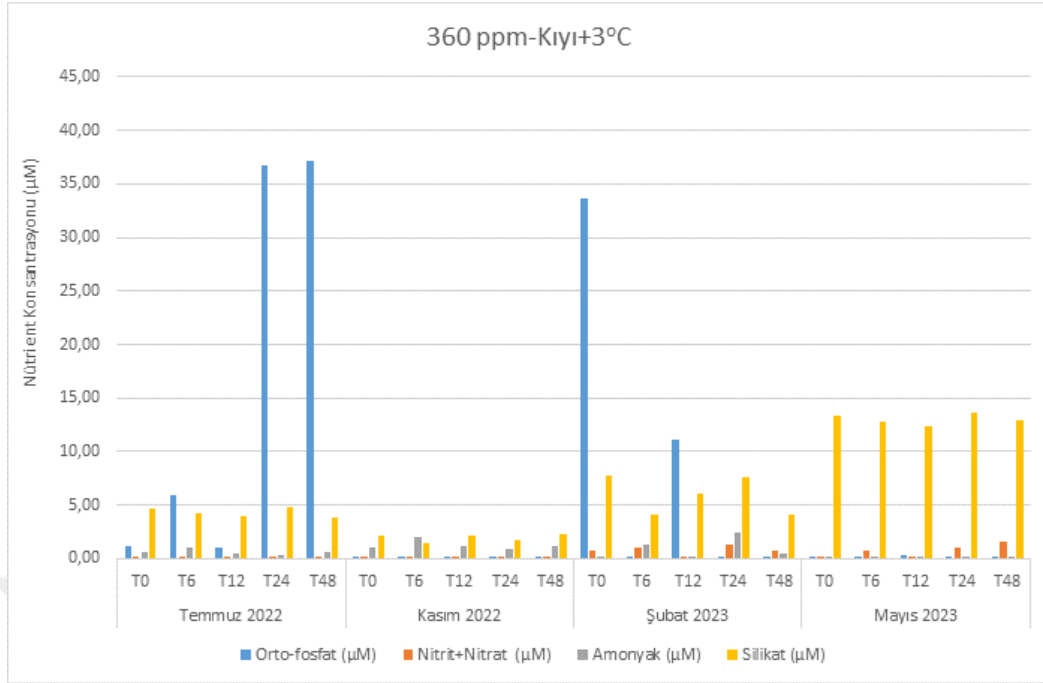
600 ppm’lik deneme gruplarının besin elementi konsantrasyonları değerlendirildiğinde ise genel bir artış eğilimi olduğu tespit edilmiştir (Şekil 75-78). Bu deneme grubunda tespit edilen en yüksek besin elementi reaktif silikat (2,36-66,96 µM) olurken sıcaklık artışına bağlı olarak denemelerin sonuna doğru artış eğilimi

göstermiştir. Bu seride tespit edilen ikinci en yüksek besin elementi orto-fosfat olup konsantrasyonları 0,06-40,56 μM arasında değişim göstermiştir. Amonyak ve nitrit+nitrat konsantrasyonları genelde düşük seyredirken sıcaklığa bağlı amonyak miktarında azalma tespit edilmiştir.

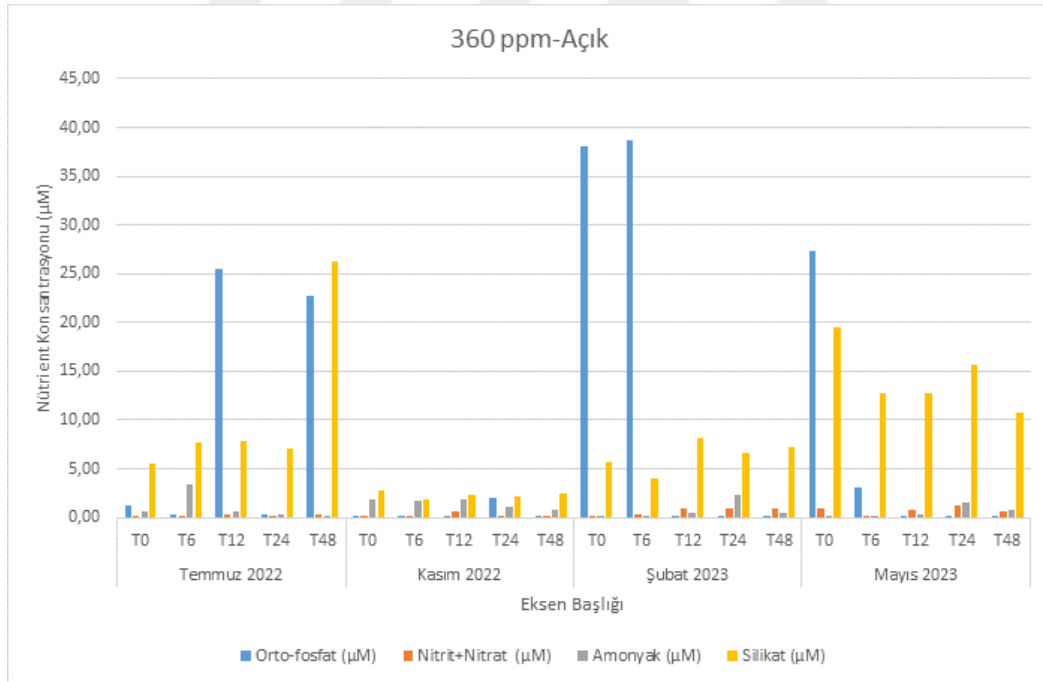
760 ppm'lik deneme gruplarında besin elementi konsantrasyonlarında 600 ppm'lik seriye göre kısmen bir azalış tespit edilmiştir (Şekil 79-82). Bu deneme grubunda tespit edilen en yüksek besin elementi orto-fosfat (0,14-40,71 μM) olurken sıcaklık artışına bağlı olarak konsantrasyonları açık deniz istasyonuna ait denemelerde ciddi şekilde azalmıştır. Mevcut seride tespit edilen ikinci en yüksek besin elementi reaktif silikat olup konsantrasyonları 2,86-14,19 μM arasında değişim göstermiştir. Amonyak ve nitrit+nitrat konsantrasyonları genelde düşük seyredirken sıcaklık artışına bağlı olarak kısmen artışlar tespit edilmiştir.



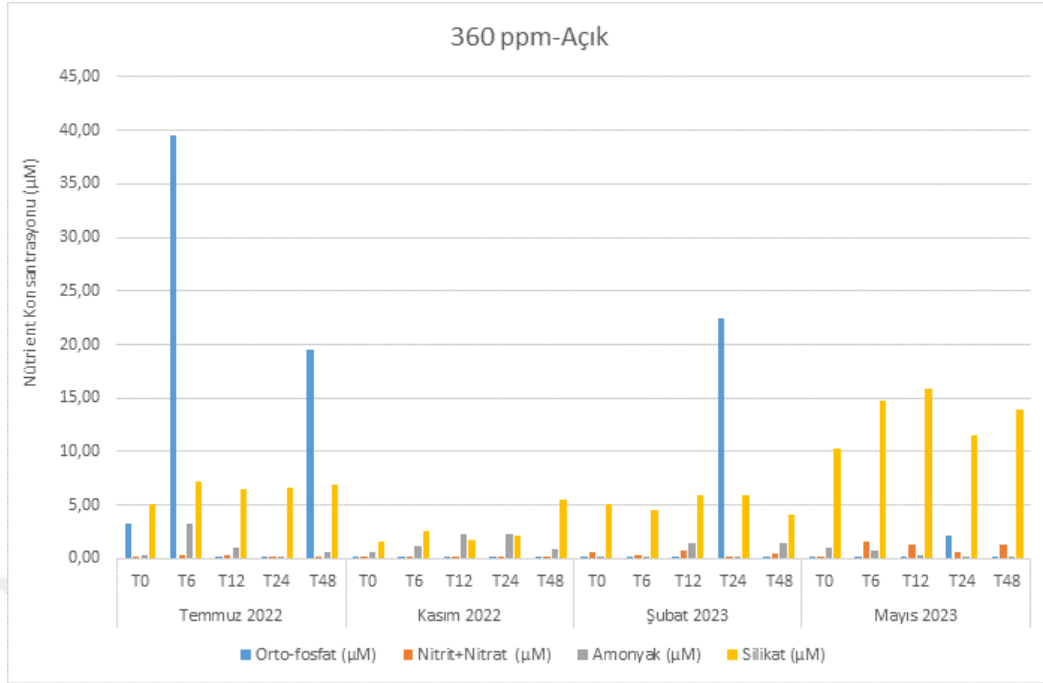
Şekil 71. Kıyı istasyonu 360 ppm'lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (μM) denemeler süresince mevsimsel değişimi



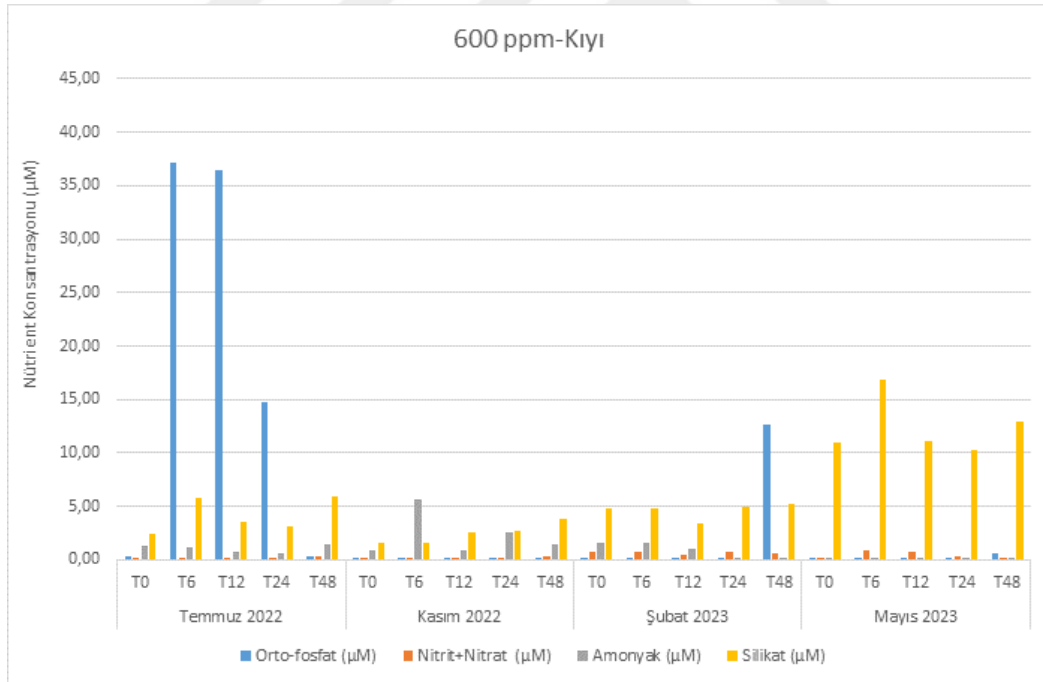
Şekil 72. Kıyı istasyonu 360 ppm +3°C'lik kontrol grubuna ait nütriënt miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi



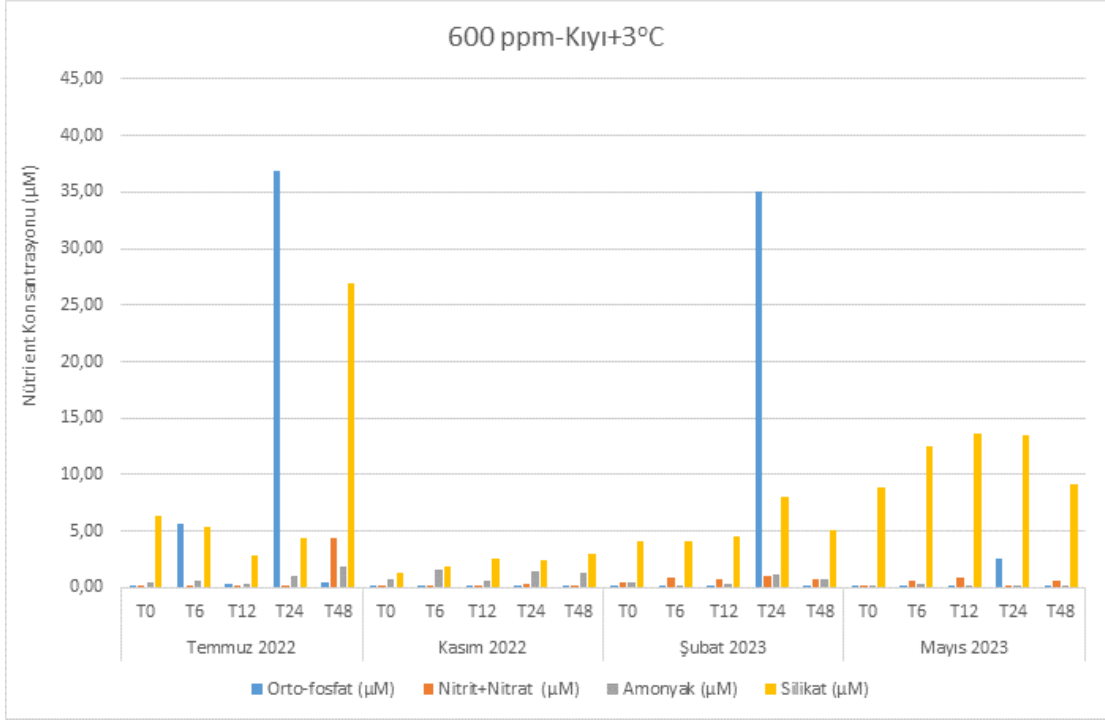
Şekil 73. Açık istasyon 360 ppm'lik kontrol grubuna ait nütriënt miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi



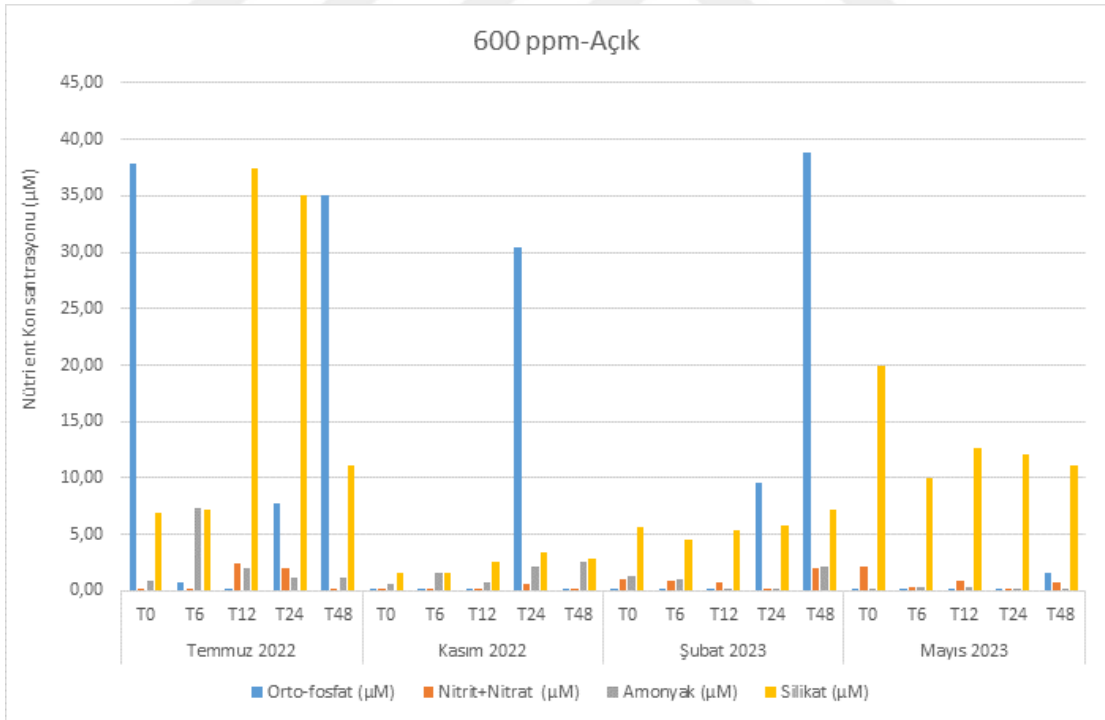
Şekil 74. Açık istasyon 360 ppm +3°C'lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi



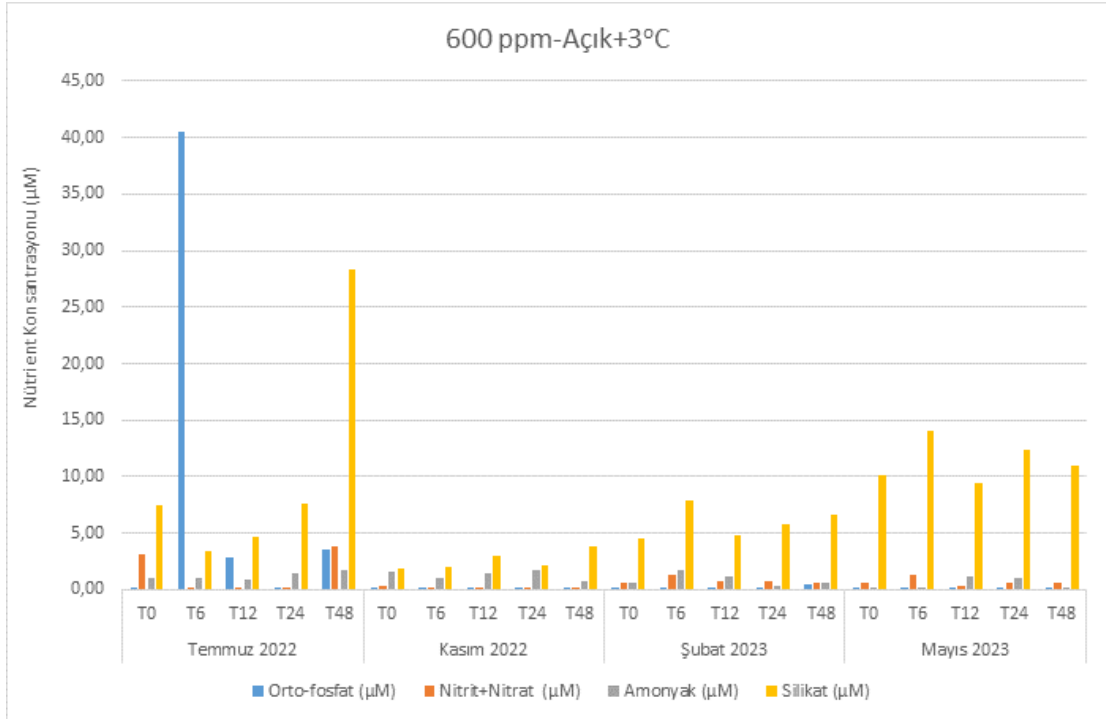
Şekil 75. Kıyı istasyonu 600 ppm'lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi



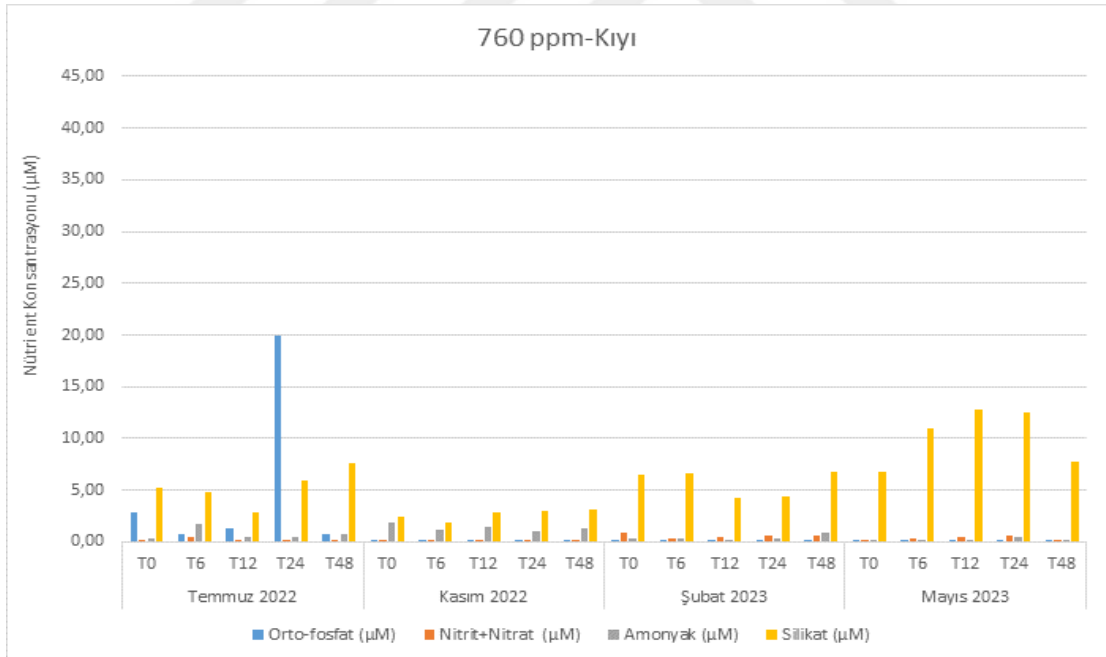
Şekil 76. Kıyı istasyonu 600 ppm +3°C'lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi



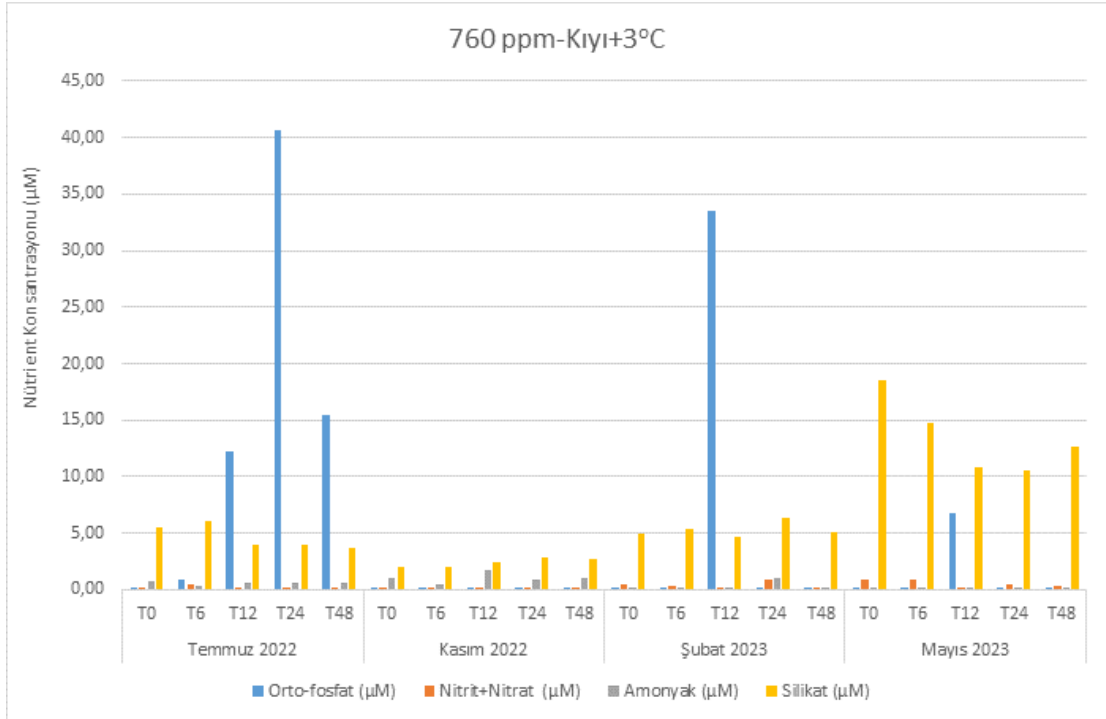
Şekil 77. Açık istasyon 600 ppm'lik kontrol grubuna ait nütrient miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi



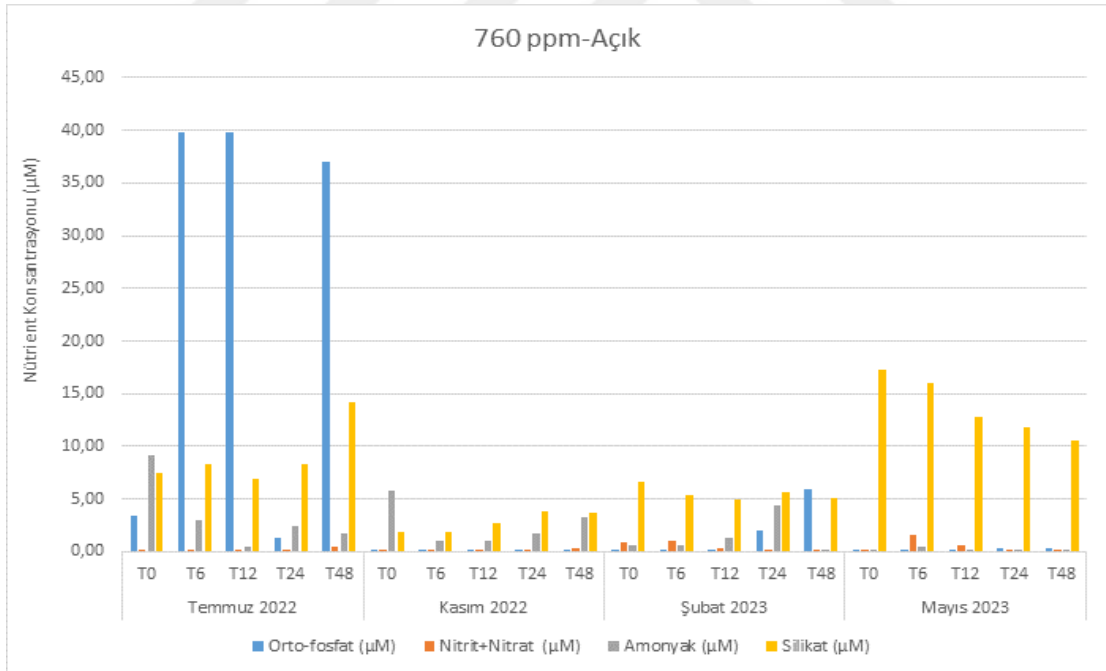
Şekil 78. Açık istasyon 600 ppm +3°C'lik kontrol grubuna ait nütri ent miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi



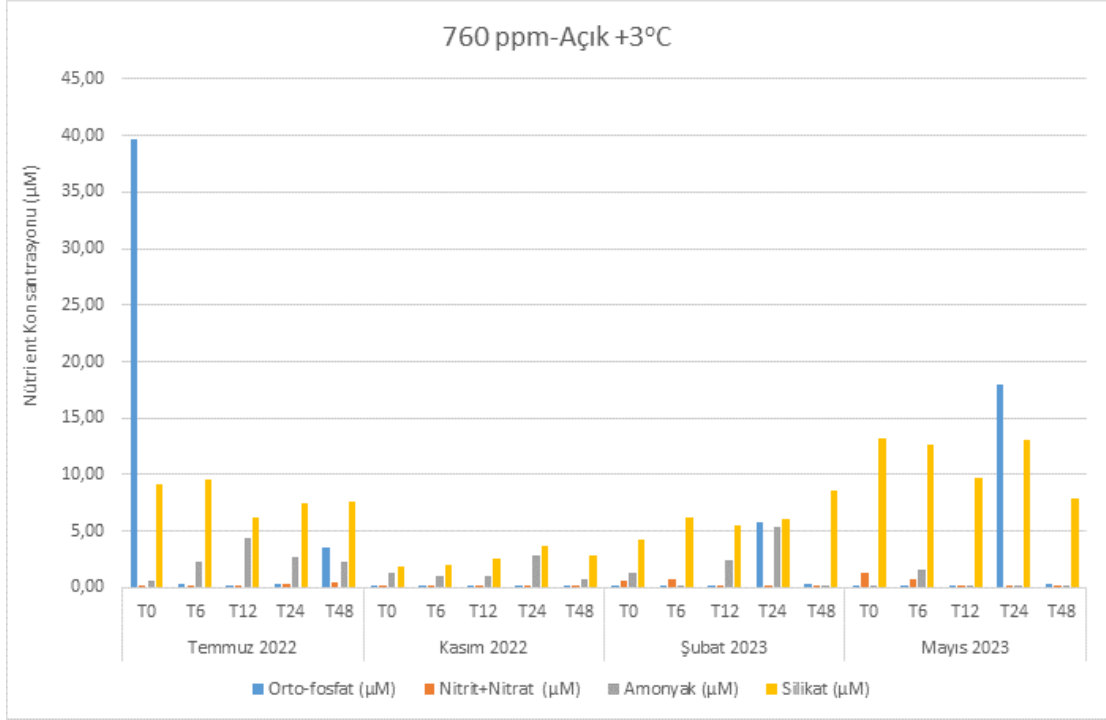
Şekil 79. Kıyı istasyonu 760 ppm'lik kontrol grubuna ait nütri ent miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi



Şekil 80. Kıyı istasyonu 760 ppm +3°C'lik kontrol grubuna ait nütri ent miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değışimi



Şekil 81. Açık istasyon 760 ppm'lik kontrol grubuna ait nütri ent miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değışimi



Şekil 82. Açık istasyon 760 ppm +3°C'lik kontrol grubuna ait nütriënt miktarlarının (µM) denemeler süresince mevsimsel değişimi

Mevsimsel açıdan bir değerlendirme yapıldığında ise nütriënt konsantrasyonları önemli değişimler göstermiştir.

Temmuz 2022 döneminde besin elementi konsantrasyonları önemli oranda değişim göstermiştir. Deneylerin geneli açısından bir değerlendirme yapıldığında orto-fosfat (0,05-40,71 µM) en yüksek konsantrasyonlarda değişim göstermiştir. Bunu, reaktif silikat (2,37-37,44 µM), amonyak (0,11-9,10 µM) ve nitrit+nitrat (0,001-4,43 µM) takip etmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak amonyak hariç diğer besin elementi konsantrasyonları artış eğilimi sergilemiştir. Bölgesel anlamda bir değerlendirme yapıldığında ise kıyısal bölgenin besin elementi konsantrasyonlarının (orto-fosfat: 0,08-40,71 µM; nitrit+nitrat: 0,001-4,43 µM; amonyak: 0,18-1,81 µM ve silikat: 2,37-26,99 µM) amonyak ve silikat hariç açık bölgeden (orto-fosfat: 0,05-40,56 µM; nitrit+nitrat: 0,001-3,79 µM; amonyak: 0,11-9,10 µM ve silikat: 3,44-37,44 µM) yüksek olduğu tespit edilmiştir. CO₂ konsantrasyonları açısından genel bir değerlendirme yapıldığında CO₂ konsantrasyonunun artışına bağlı olarak orto-fosfat konsantrasyonları sürekli bir artış eğiliminde olurken nitit+nitrat konsantrasyonları 760 ppm'lik deneme grubunda azalmıştır. Amonyak sürekli bir artış eğilimi

sergilerken silikat konsantrasyonları 760 ppm'lik seride azalış eğilimi göstermiştir. Sıcaklık-CO₂ ilişkisi incelendiğinde ise 360 ve 760 ppm'lik serilerde silikat, 600 ve 760 ppm'lik serilerde ise amonyak azalış eğilimi sergilemiştir.

Kasım 2022 örnekleme döneminde reaktif silikat (1,36-5,54 μM) ve amonyak (0,36-5,77 μM) en yüksek konsantrasyonlarda okunan besin elementleri olmuştur. Bunları sırasıyla orto-fosfat (0,04-2,07 μM) ve nitrit+nitrat (0,01-1,44 μM) takip etmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak silikat hariç diğer besin elementi konsantrasyonları azalma eğilimi sergilemiştir. Bölgesel anlamda bir değerlendirme yapıldığında ise kıyısal bölgenin besin elementi konsantrasyonlarının (orto-fosfat: 0,01-0,15 μM ; nitrit+nitrat: 0,01-1,44 μM ; amonyak: 0,36-5,69 μM ve silikat: 1,36-3,89 μM) nitrit+nitrat hariç açık bölgeden (orto-fosfat: 0,01-2,07 μM ; nitrit+nitrat: 0,01-0,68 μM ; amonyak: 0,6-5,77 μM ve silikat: 1,57-5,54 μM) düşük olduğu tespit edilmiştir. CO₂ konsantrasyonları açısından genel bir değerlendirme yapıldığında CO₂ konsantrasyonunun artışına bağlı olarak amonyak hariç diğer besin elementlerinin sürekli bir azalış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Amonyak (360, 600 ve 760 ppm için sırasıyla 0,36-4,20 μM ; 0,59-5,69 μM ve 0,43-5,77 μM) ise sürekli artış eğilimi sergilemiştir. Sıcaklık-CO₂ ilişkisi incelendiğinde ise 360 ppm'lik serilerde silikat artış gösterirken diğer bütün serilerde besin elementi konsantrasyonları sıcaklık artışıyla birlikte azalma eğilimi sergilemiştir.

Şubat 2023 örnekleme döneminde orto-fosfat (0,002-38,82 μM) ve reaktif silikat (3,42-9,72 μM) en yüksek konsantrasyonlarda okunan besin elementleri olmuştur. Bunları sırasıyla amonyak (0,005-5,38 μM) ve nitrit+nitrat (0,004-2,36 μM) takip etmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak amonyak hariç diğer besin elementi konsantrasyonları azalma eğilimi sergilemiştir. Bölgesel anlamda bir değerlendirme yapıldığında ise kıyısal bölgenin besin elementi konsantrasyonlarının (orto-fosfat: 0,002-35,08 μM ; nitrit+nitrat: 0,005-2,36 μM ; amonyak: 0,005-2,49 μM ve silikat: 3,42-9,72 μM) orto-fosfat ve amonyak hariç açık bölgeden (orto-fosfat: 0,007-38,82 μM ; nitrit+nitrat: 0,004-2,01 μM ; amonyak: 0,005-5,38 μM ve silikat: 4,07-8,53 μM) yüksek olduğu tespit edilmiştir. CO₂ konsantrasyonları açısından genel bir değerlendirme yapıldığında CO₂ konsantrasyonunun artışına bağlı olarak amonyak hariç diğer besin elementlerinin sürekli bir azalış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Amonyak (360, 600 ve 760 ppm için sırasıyla 0,05-2,49 μM ; 0,05-2,10 μM ve 0,005-

5,38 μM) ise sürekli artış eğilimi sergilemiştir. Sıcaklık- CO_2 ilişkisi incelendiğinde ise bütün serilerde besin elementi konsantrasyonları sıcaklık artışıyla birlikte azalma eğilimi sergilemiştir.

Mayıs 2023 örnekleme döneminde orto-fosfat (0,002-27,28 μM) ve reaktif silikat (6,78-19,87 μM) en yüksek konsantrasyonlarda okunan besin elementleri olmuştur. Bunları sırasıyla nitrit+nitrat (0,02-2,13 μM) ve amonyak (0,005-1,58 μM) takip etmiştir. Sıcaklık artışına bağlı olarak amonyak hariç diğer besin elementi konsantrasyonları azalma eğilimi sergilemiştir. Bölgesel anlamda bir değerlendirme yapıldığında ise kıyısal bölgenin besin elementi konsantrasyonlarının (orto-fosfat: 0,002-6,80 μM ; nitrit+nitrat: 0,02-1,61 μM ; amonyak: 0,005-0,45 μM ve silikat: 6,78-18,47 μM) açık bölgeden (orto-fosfat: 0,004-27,28 μM ; nitrit+nitrat: 0,02-2,13 μM ; amonyak: 0,005-1,58 μM ve silikat: 7,95-19,87 μM) düşük olduğu tespit edilmiştir. CO_2 konsantrasyonları açısından genel bir değerlendirme yapıldığında CO_2 konsantrasyonunun artışına bağlı olarak orto-fosfat ve amonyak 600 ppm'lik konsantrasyonda azalmış ve 760 ppm'lik seride tekrar artış göstermiştir. Diğer taraftan nitrit+nitrat ve silikat konsantrasyonları 600 ppm'lik seride artış sergilerken 760 ppm'lik seride azalış eğilimi göstermiştir. Sıcaklık- CO_2 ilişkisi incelendiğinde 360 ppm'lik seride orto-fosfat ve amonyak düşüş gösterirken nitrit+nitrat ve silikat ise artış göstermiştir. 600 ppm'lik seride amonyak hariç diğer nütrient değerlerinde düşüş gözlenmiştir. 760 ppm'lik seride ise bütün besin elementi konsantrasyonları sıcaklık artışıyla birlikte artış eğilimi sergilemiştir.

4. TARTIŞMA

Doğu Karadeniz ekosisteminde farklı CO₂ konsantrasyon koşulları altında fitoplankton birincil üretim miktarlarının mevsimsel değişiminin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma 1 Kasım 2021-1 Kasım 2023 tarihleri arasında yürütülmüştür. Çalışma süresince bölgeyi karakterize edeceği düşünülen 2 farklı istasyonda (kıyı ve açık deniz istasyonu) 10 m su derinliğinden mevsimsel örneklemeler yapılmıştır. Çalışma da elde edilen veriler bulgular kısmında sunulmuş olup, bu bölümde ise mevcut bulgular bölgede yapılmış olan diğer çalışmalar ile tartışılmıştır.

4.1. Hidrografi

Karadeniz'in üst yüzey tabakası hidrografik özellikleri dinamik bir yapıya sahip olup mevsimsel açıdan önemli salınımlar göstermektedir. Bu dinamik yapı özellikle kıyısız bölgelerde kendini daha fazla hissettirmektedir (Sivri, 1999). Çalışmanın yürütüldüğü dönem içerisinde istasyonlara ait *in-situ* CTD ölçümleri fotik bölgenin de altına inilerek 100 m derinliğe kadar gerçekleştirilmiştir.

Karadeniz'in deniz suyu yüzey sıcaklıkları mevsimsel olarak önemli salınımlar göstermektedir. Havaaların ısınmasına bağlı olarak ilkbahar mevsiminde belirgin bir artışın ardından, Temmuz ve Ağustos aylarında yüzey suyu sıcaklıkları en yüksek değerlere ulaşır. Sonbaharda ise Eylül ayından itibaren soğumaların başlamasıyla birlikte Ocak-Şubat aylarında su sıcaklığı en düşük değerlere ulaşır (Ivanov, 1985). Karadeniz'de sıcaklık düşüşlerinin Eylül ayından itibaren başladığı ve en düşük değerlere Ocak-Şubat aylarında ulaştığı bilinmektedir. İlkbahara doğru belirgin bir artışın ardından, Temmuz ve Ağustos aylarının yüzey suyu sıcaklıkları açısından en yüksek değerleri aldığı rapor edilmektedir (Ivanov, 1985; Mater, 1985). Sivri (1999), Doğu Karadeniz için deniz suyu yüzey sıcaklığını en yüksek Ağustos (25°C) ve en düşük yüzey suyu sıcaklığını ise Şubat (8°C) ayında ölçmüştür. Erüz (1999), Güneydoğu Karadeniz kıyılarında (Trabzon-Rize) 1995-1996 dönemi için deniz suyu yüzey sıcaklığının 7,2°C (Şubat) ile 24,6°C arasında değiştiğini rapor etmiştir. Oğuz vd., (2008) basenin iç bölgelerinde farklı dönemlerde (Şubat 1990; Nisan 1993, Ağustos 1993, Mayıs 2001 ve Mart 2003) yürüttükleri çalışmada 50-60 m'lik yüzey tabaka sularında yılın soğuk geçen dönemlerinde su sıcaklığını 6-7 °C ve sıcak

dönemlerinde ise 22-26 °C arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Başka bir çalışmada deniz suyu yüzey sıcaklığı 10,5°C (Şubat 2015) ile 28,4°C (Ağustos 2015) arasında değişim göstermiştir (Bakırcı, 2017). Güney Doğu Karadeniz’de (Sürmene Koyu) yürütülen başka bir çalışmada ise deniz suyu yüzey sıcaklığının 9-25,5°C arasında değiştiği rapor edilmiştir (Ağırbaş, 2010). Aynı araştırmacı en yüksek yüzey suyu sıcaklık değerlerini Temmuz-Ağustos (24-25,5°C) döneminde kaydederken en düşük yüzey suyu sıcaklığını Şubat-Mart-Nisan (9-9,5°C) dönemlerinde kaydetmiştir. Ağırbaş ve Çakıroğlu (2021), Karadeniz’in Türkiye kıyıları için deniz suyu yüzey sıcaklıklarının uzun dönemli (1970-2018) değişiminin 6,75-23,19°C arasında olduğunu rapor etmişlerdir. Aynı şekilde bölgede sıcaklık değişimi yıllık 12,89-16,37°C arasında olurken, sıcaklıkların her geçen yıl giderek arttığı tespit edilmiştir (Ağırbaş ve Çakıroğlu, 2021). Nur (2021) tarafından yürütülen başka bir çalışmada deniz suyu yüzey sıcaklığı 8,5°C (Şubat 2015) ile 28,3°C (Ağustos 2015) arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. BAP2022 Proje çalışmasında Güney Doğu Karadeniz’de deniz suyu sıcaklığı 9,61°C ile 23,34°C arasında değişim göstermiştir.

Bu çalışmada ise kıyasal bölgede deniz suyu yüzey sıcaklığı Şubat 2022 (8,27°C) döneminde ve en yüksek deniz suyu yüzey sıcaklığı ise Temmuz 2023 (24,35°C) döneminde kaydedilmiştir. Açık istasyonda ise deniz suyu yüzey sıcaklığı 8,09°C-22,96°C aralığında değişim göstermiştir. Proje kapsamında elde edilen bulgular bölgede yapılan önceki çalışmalarla kıyaslandığında gerek kış dönemi ve gerekse yaz dönemi yüzey suyu sıcaklıklarının önceki yıllara göre düştüğünü göstermiştir. Tespit edilen bu farklılık bölgesel farklılıktan kaynaklanabileceği gibi örnekleme dönemlerinin farklı olması ve daha da önemlisi iklim değişikliğine bağlı olarak ortaya çıkan mevsimsel kaymalardan da kaynaklanma olasılığı bulunmaktadır.

Tablo 9. Karadeniz’de yapılan deniz suyu yüzey sıcaklığı çalışmalarının karşılaştırılması

Bölge	Dönem	Deniz Suyu Yüzey Sıcaklığı(°C)	Referans
Doğu Karadeniz	1996- Ağustos 1997- Şubat	25,0 8,0	Sivri, 1999
Güneydoğu Karadeniz kıyıları	1995-1996	7,2-24,6	Erüz 1999
Karadeniz Baseni İç Kısım	1990- Şubat 1993- Nisan 1993- Ağustos 2001- Mayıs 2003- Mart	6-7 22-26	Oğuz vd., 2008
Güney Doğu Karadeniz kıyısıl ekosistemi	Temmuz- Ağustos Şubat- Mart- Nisan	24-25,5 9-9,5	Ağırbaş, 2010
GüneyDoğuKaradeniz (Artvin-Giresun) kıyıları	Ağustos -2015 Şubat -2015	28,4 10,5	Bakırcı, 2017
Güney Doğu Karadeniz kıyıları	Ağustos -2015 Şubat -2015	28,38,5	Nur, 2021
Karadeniz’in Türkiye kıyıları	1970-2018	6,75-23,19	Ağırbaş ve Çakıroğlu (2021)
Güney Doğu Karadeniz		9,61 23,34	Ağırbaş, BAP2022 Proje
	Yaz dönemi kıyı	24,35	
	Yaz dönemi açık	22,96	
	Sonbahar dönemi kıyı	16,88	
	Sonbahar dönemi açık	16,57	
Doğu Karadeniz	Kış dönemi kıyı	9,62	
	Kış dönemi açık	16,64	Bu çalışma
	İlkbahar dönemi kıyı	15,06	
	İlkbahar dönemi açık	14,59	
	Yaz dönemi kıyı	24,35	
	Yaz dönemi açık	22,96	

Karadeniz sahip olduğu tabakalı yapısı ile farklı bir tuzluluk profili çizen özel bir denizdir. Yüzeyde tatlı su girdisine bağlı az tuzlu sular yer alırken derinlerde Akdeniz kökenli daha tuzlu sular yer almaktadır (Kıdeyş vd., 2000). Tuzluluk değişimleri incelendiğinde; yüzeyde daha az tuzlu suların (% 16-17) yer aldığı, derinlikle beraber daha yoğun tuzlu suların (% 21) bulunduğu Karadeniz’in genel

karakteristiğine uyan bir su kütlesi karşımıza çıkmaktadır. Ivanov (1985), Karadeniz'in yüzey sularında tuzluluğunun ‰ 17,88; dip sularında ise ‰ 22,06 olduğunu belirtmiştir. Güneybatı Karadeniz'de ortalama yüzey tuzluluğu Mart-Ağustos döneminde ‰ 18'den ‰ 16-17 değerlerine kadar bir düşüş göstermiştir (Kıdeyş vd., 2000). Bologna (1985) Karadeniz'in açık sularında yüzey suyu tuzluluğunun ‰ 18-19, derin bölgede ise (2000 m) ‰ 22,5 civarında olduğunu rapor etmiştir. Yılmaz vd., (1998) Karadeniz'in Anadolu sahillerinde yaz-sonbahar periyodunda yürüttükleri çalışmada tuzluluk değişimini ‰ 18.5-20,1 olarak rapor etmişlerdir. Yüzey sularındaki tuzluluk değişimleri kıyı sularda daha fazla olmakta, yağışların ve nehir girdisinin arttığı dönemlerde daha da artmaktadır (Sivri, 1999). Ağırbaş (2010) kıyı sularda yüzey tuzluluğunu ‰ 16,4–17,9 arasında değişim gösterdiğini bildirmiştir. Yüzey suyu en yüksek tuzluluk değerlerini Temmuz-Ağustos (‰ 17,8) döneminde ve Aralık döneminde (‰ 17,9) kaydetmiştir. Yüzeyde ortalama ‰ 17 olan tuzluluk derinlikle beraber artarak ‰ 21,4'e ulaşmıştır. Açık sularda ise yüzeyde ‰ 16,6– 17,9 olan tuzluluk derinlikle beraber ‰ 21,5'e ulaşmıştır. Mevsimsel ölçekte yürütülen başka bir çalışmada ise yüzey suyu tuzluluğu ‰ 16,3 (Mayıs 2015) ile ‰ 17,6 (Ağustos 2015) arasında değişim göstermiştir. Derinliğe bağlı olarak tuzluluk artış göstermiş ve ‰ 20 seviyelerine kadar ulaşmıştır (Bakırcı 2017).

Bu çalışmada ise tuzluluk profilleri ise Karadeniz'in genel karakteristiğine uygun (‰18) bir yapı sergilerken derinlikle beraber ‰20 seviyelerine ulaşmıştır. Özellikle nehir girdisine yakın olan kıyı istasyonunda ve yağışların etkili olduğu Şubat ve Mayıs dönemlerinde yüzey suyu tuzluluk değerleri ‰18'e kadar düşmüştür. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatür verileriyle örtüşmektedir.

Tablo 10. Karadeniz’de yapılan tuzluluk çalışmalarının karşılaştırılması

Bölge	Dönem	Tuzluluk (%)	Kaynak
Karadeniz	1985 Yüzey de Derinler de	17,88 22,06	Ivanov 1985
Karadeniz	1985 Açık Sular Dip Sular	18-19 22,5	Bologa 1985
KaradenizAnadolu sahilleri	1998 Yaz- Sonbahar Dönemi	18,5-20,1	Yılmaz vd., 1998
Karadeniz	2000 Yüzey de Derinler de	16-17 21	Kıdeyş vd., 2000
	Mart- Ağustos Dönemi	16-17	
	2010 Kışı	16,4-17,9	
Karadeniz	Derin Sularda	21,4	Ağırbaş 2010
	Açık kıyı	16,6-17,9	
	Derin Sularda	20	
Güneydoğu Karadeniz Kıyıları	Mayıs 2015	16,3	
	Ağustos 2015	17,6	Bakırcı 2017
	Derin Sularda	20	
Güneydoğu	Yaz	17-19	
Karadeniz	Sonbahar	18-20	Bu Çalışma
	Kış	18-19	
	İlkbahar	18-20	

HPLC tekniğine bir çok araştırma gurubu tarafından (Wright ve Jeffrey, 1987; Gieskes, 1991; Millie vd., 1993; Jeffrey ve Veski., 1997, Gibb vd., 2000, 2001; Barlow vd., 2002, 2004; Aiken vd., 2009, Ağırbaş vd., 2015) uzun zamandan beri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Karadeniz’de ise bu tekniğe dayalı çalışmalar ise oldukça sınırlıdır (Ediger vd., 2006; Eker-Develi vd., 2012; Ağırbaş, 2010, Koca, 2014). Temel fotosnetetik pigment olan klorofil-*a*’nın Karadeniz’in farklı bölgelerindeki dağılımı Tablo 6’da özetlenmiştir. Klorofil-*a*’nın uzun dönemli değişimleri incelendiğinde 1964-1986 yılları için $0,15 \pm 0,04$ µg/L arasında değiştiği bildirilmiştir (Yunev vd., 2002). Karadeniz’in geneli için ortalama klorofil-*a* değerlerinin 0,59-0,69 µg/L arasında değiştiği bildirilmiştir (Kopelevich vd., 2004). Karadeniz’in Anadolu kıyıları için 1995-1996 yılları için klorofil-*a* konsantrasyonunun 0,1-1,5 µg/L arasında

değiştii rapor edilmiştir (Yılmaz vd., 1998). Eker-Develi vd. (2003) tarafından yürütölen başka bir çalışmada ise Türkiye kıyıları için 1996-1998 döneminde yüzey suyu klorofil-*a* değerlerinin 0,34-0,42 µg/L arasında değiştiği bildirilmiştir. Ediger vd. (2006) Güneybatı Karadeniz için ortalama klorofil-*a* konsantrasyonun 0,15-1,23 µg/L arasında değiştiğini rapor etmiştir. Ağırbaş (2010) tarafından Güneydoğu Karadeniz’de aylık dönemler halinde yürütölen çalışmada ise yüzey suyu klorofil-*a* değerleri kıyı (2 mil) açık (8 mil) için sırasıyla 1,97 µg/L ve 1,84 µg/L olarak bildirmiştir. Güney Doğu Karadeniz Rize sahillerinde yürütölen başka bir çalışmada ise klorofil-*a* konsantrasyonunu 0,34-2,71 µg/L arasında değiştiği tespit edilmiştir (Koca, 2014). Türkmen (2016) tarafından Güneydoğu Karadeniz ekosisteminde mevsimsel ölçekte yürütölen çalışmada ise Kasım 2014-Ağustos 2015 dönemi için yüzey suyu ortalama klorofil-*a* konsantrasyonlarının 2, 8 ve 15 mil için sırasıyla 0,37-2,68 µg/L, 0,16-2,04 µg/L ve 0,32-1,79 µg/L arasında değiştiği rapor edilmiştir. Aylık peryotlar halinde yürütölen başka çalışmada ise yüzey suyu klorofil-*a* konsantrasyonları nehir ağzı, kıyı ve açık istasyonlar için sırasıyla 0,51-3,97 µg/L; 0,16-2,47 µg/L ve 0,18-3,04 µg/L arasında değiştiği tespit edilmiştir (Genç, 2017). Başka bir çalışmada ise yüzey suyu ortalama klorofil-*a* konsantrasyonları 2, 8 ve 15 mil için sırasıyla 2,61 µg/L, 2,56 µg/L ve 2,23 µg/L arasında değişmiştir (Karadeniz, 2018).

Çalışma bölgesinde klorofil-*a* profilleri tabakalaşmanın çok yoğun olduğu yaz döneminde derinliğe bağılı olarak azalan bir yapı sergilerken nispeten mevsimsel termoklinin devam ettiğı sonbahar dönemi ile karışımların çok yoğun olduğu kış döneminde daha düzensiz bir yapı sergilemiştir. Klorofil maksimumun yaz döneminde genelde yüzeye yakın derinliklerde tespit edilirken diğör mevsimlerde kısmen daha derinlerde gözlenmiştir. Çalışma süresince istasyonlara ait klorofil-*a* konsantrasyonları mevsimsel olarak yaz dönemi, sonbahar dönemi, kış dönemi ve ilkbahar dönemi ortalama klorofil-*a* konsantrasyonları sırasıyla 0,15-3,35 µg/L, 0,28-3,82 µg/L, 0,05-1,55 µg/L ve 0,68-1,35 µg/L arasında değişmiştir.

Elde edilen bulgular literatür verileriyle kıyaslandığında özellikle bölgede yapılan çalışmalarla uyumluluk göstermekle beraber nispeten yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Tespit edilen bu farklılıklarda yöntemsel farklılıklar (spektrofotometre, florometre, floresan ölçümleri, HPLC ve uydu oşinografisi vb.) etkili olabileceğı gibi

bölgesel farklılıklar, çalışma dönemlerinin farklı olması, örnekleme sıklığı ve değişen ekosistem koşulları altında değişen fitoplankton toplulukları vb. faktörler etkili olabilmektedir.

Tablo 11. Karadeniz’de yürütülen klorofil-a çalışmaları

Bölge	Dönem	Klorofil-a($\mu\text{g/L}$)	Referans
Tüm Havza	1964-1986	0,15	Yunev vd., 2002
	1992	0,99	
	1993	0,26	
Tüm Havza	1998-2001	0,59-0,69	Kopelevecih vd., 2004
Ukrayna	1991	0,2-0,6	Krupatkina ve Berseneva, 1995
Güney Kar.	1995-1996	0,1-1,5	Yılmaz vd., 1998
Güney Kar.	Temmuz 1997 ve Eylül 1998	<0,5-1,5	Yayla vd., 2001
Anadolu sahilleri	Haziran-Temmuz 1996	0,34	Eker-Develi vd., 2003
	Mart-Nisan 1998	0,42	
	Eylül 1998	0,40	
Kuzey Batı Kar.	Mayıs-Haziran 2001	0,03-1,92	Yılmaz vd., 2006
Güney Batı Kar.	Mayıs 2001	0,15-1,23	Ediger vd., 2006
Güney Doğu Kar.	Şubat-Aralık 2009		
Güney Doğu Kar.	Kıyı (2 mil), aylık	1,97	Ağırbaş, 2010
Güney Doğu Kar.	Açık (8 mil), aylık	1,84	Ağırbaş, 2010
Güney Doğu Kar.	Kıyı (2 mil), aylık	0,6	Kopuz, 2012
Güney Doğu Kar.	Kıyı (1 mil), aylık	0,34-2,71	Koca, 2014

Tablo 12 (Devam). Karadeniz’de yürütülen klorofil-a çalışmaları

Güney Doğu Kar.	Kıyı (2 mil), mevsimsel	1,22	Türkmen, 2016
Güney Doğu Kar.	Kıyı (8 mil), mevsimsel	0,81	Türkmen, 2016
Güney Doğu Kar.	Kıyı (15 mil), mevsimsel	0,76	Türkmen, 2016
Güney Doğu Kar.	Nehir Ağzı (0,5 mil), aylık	0,79-3,11	Genç, 2017
Güney Doğu Kar.	Kıyı (5 mil), aylık	0,73-2,78	Genç, 2017
Güney Doğu Kar.	Kıyı (20 mil), aylık	0,67-2,29	Genç, 2017
Güney Doğu Kar.	Kıyı (2 mil), mevsimsel	2,61	Karadeniz, 2018
Güney Doğu Kar.	Kıyı (8 mil), mevsimsel	2,56	Karadeniz, 2018
Güney Doğu Kar.	Kıyı (15 mil), mevsimsel	2,23	Karadeniz, 2018
Güney Doğu Kar.	Yaz Dönemi	0,15-3,35	Bu Çalışma
	Sonbahar Dönemi	0,28-3,82	Bu Çalışma
	Kış Dönemi	0,05-1,55	Bu Çalışma
	İlkbahar Dönemi	0,68-1,35	Bu Çalışma

Kıyusal bölgede yüzey suyu pH değeri 8,16-8,25 arasında değişim gösterirken açıkta 7,93-8,17 arasında değişim göstermiştir. Denemeler için örneklemelerin yapıldığı 10 m derinlikte ise kıyıda 8,12-8,21 arasında değişen pH değeri açık istasyon 8,09-8,17 aralığında değişim göstermiştir. Okyanus ve denizlerin pH aralığı genel olarak 7,5-8,4 arasında değişmekte olup çalışma bölgesinde yapılan ölçümler neticesinde pH değeri bu aralıklar arasında değişim göstermiştir. İstasyonlarda ilk 25 m’de açık istasyonun pH değeri kıyıya nazaran daha düşük bir yapı sergilerken 25

m'den sonra durum tersine dönerek kıyı istasyonu daha düşük pH değerleri ile karakterize olmuştur.

4.2. CO₂-Birincil Üretim İlişkisi

Dünya'nın en özel ekosistemlerinden biri olan Karadeniz'de birincil üretimin belirlenmesine yönelik çalışmaların ağırlıklı olarak Kuzey Batı kıta sahanlığında yoğunlaştığı dikkat çekmektedir (Bologa, 1984). C-14 tekniği kullanılarak Karadeniz'in kuzeybatısı, İstanbul Boğazı ve Kerç Boğazı etrafında gerçekleştirilen detaylı bir çalışmada birincil üretim miktarları kuzeybatı kıta sahanlığı için 600-3000 mgCm⁻²gün⁻¹, İstanbul Boğazı ve Kerç Boğazı çevresi için 300-600 mgCm⁻²gün⁻¹ ve derin bölge için ise 50-200 mgCm⁻²gün⁻¹ civarında olduğu rapor edilmiştir (Stelmakh vd., 1998). Başka bir çalışmada ise birincil üretim miktarlarının kuzeybatı kıta sahanlığı için 570-1200 mgCm⁻²gün⁻¹, kıtasal yamaç için 320-500 mgCm⁻²gün⁻¹ ve derin deniz bölgesi için ise 100-370 mgCm⁻²gün⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir (Bologa vd., 1999). Romanya kıyılarında yürütülen başka çalışmada ise günlük üretim miktarını 238-825 mgCm⁻² arasında değiştiği belirtilmiştir (Bologa vd., 1979). Bütün Karadeniz'i kapsayacak şekilde yürütülen başka bir çalışmada ise ortalama birincil üretim değerleri 286-603 mgCm⁻²gün⁻¹ olarak belirlenmiştir (Bologa, 1986).

Karadeniz'in Anadolu sahillerinde yürütülen bir çalışmada Temmuz 1997-Eylül 1998 dönemleri için birincil üretim değerlerinin 62-785 mgCm⁻²gün⁻¹ arasında değiştiği rapor edilmiştir (Yayla vd., 2001). Yılmaz vd. (1998)'nin 1995-1996 periyodunda Karadeniz'in Anadolu kıyılarında yürüttükleri başka bir çalışmada birincil üretim miktarlarını ilkbahar için 247-1925 mgCm⁻²gün⁻¹, yaz/sonbahar dönemi için 405-687 mgCm⁻²gün⁻¹ arasında tespit etmişlerdir. Aynı çalışmada Sinop (Nisan 1996) ve Sakarya (Haziran-Temmuz 1996) açıkları için üretim değerlerini sırasıyla 1925 mgCm⁻²gün⁻¹ ve 603 mgCm⁻²gün⁻¹ olarak rapor etmişlerdir. Mayıs-Haziran 2001 döneminde boğazlardan Kuzeybatı kıta sahanlığına kadar yürütülen başak bir çalışmada ise birincil üretim değerlerinin 112-355 mgCm⁻²gün⁻¹ arasında değiştiği bildirilmiştir (Yılmaz vd., 2006). Doğu Karadeniz bölgesinde kıyı (2 mil) ve açık sularda (8 mil) iki aylık dönemler halinde yürütülen bir çalışmada birincil üretim miktarlarının kıyı sularda 431-1392 mgCm⁻²gün⁻¹ arasında değişim gösterdiği, açık sularda ise 126-1332 mgCm⁻²gün⁻¹ arasında değiştiği bildirilmiştir (Ağırbaş, 2010).

Aynı araştırmacı en fazla birincil üretimi Ağustos döneminde tespit etmiştir. En düşük üretim ise kıyı sularda Mayıs döneminde ve açık sularda Temmuz döneminde belirlemiştir. Daha geniş bir alanda gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise toplam birincil üretim miktarları $295-5931 \text{ mgCm}^{-2}\text{gün}^{-1}$ arasında değişmiştir (Ağırbaş vd., 2017). Bu çalışmada ise toplam birincil üretim değerleri $41-8553 \text{ mgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$ arasında değişim göstermiştir. Bölgesel anlamda bir değerlendirme yapıldığında ise kıyısız bölge birincil üretim miktarlarının ($43-8553 \text{ mgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$) açık bölgeden ($41-4443 \text{ mgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$) önemli oranda yüksek olduğu tespit edilmiştir. Fitoplankton boy grupları açısından bir değerlendirme yapıldığında ise mikrofitoplankton en yüksek birincil üretim miktarlarıyla ($6-6410 \text{ mgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$) öne çıkan grup olurken bunu nanofitoplankton ($9-3552 \text{ mgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$) ve pikofitoplankton ($1-946 \text{ mgCm}^{-2}\text{s}^{-1}$) takip etmiştir.

Birincil üretim miktarları gerek farklı CO_2 konsantrasyonları ve gerekse sıcaklık kontrolü altında denemeler süresince önemli değişimler göstermiştir (bakınız Şekil 26-37). Denemelerde CO_2 konsantrasyonunun artışına bağlı olarak birincil üretim miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir. Sıcaklık- CO_2 ilişkisi incelendiğinde ise sinerjik bir etkinin meydana geldiği tespit edilmiştir. Keys vd. (2018) tarafından Batı İngiliz kanalında sonbahar dönemi alg patlamasının görüldüğü dönemde yürüttükleri çalışmada zenginleştirilmiş CO_2 ve yükseltilmiş sıcaklık koşullarının fitoplankton biyoması, tür kompozisyonu ve fotosentez üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Deney süresince fitoplankton biyomasının zenginleştirilmiş CO_2 koşulları ($800 \mu\text{atm pCO}_2$) altında 6,5 kat ve yüksek sıcaklık koşulları (ortam sıcaklığından $+4^\circ\text{C}$ fazla) altında ise 4,6 kat'lık bir oranda arttığı tespit edilmiştir. Diğer taraftan sıcaklık ve CO_2 artışının sinerjik etkisinin takip edildiği denemelerde ise önemli bir etki yapmadığı da gözlenmiştir. Deney başlangıcında dinoflagellat tarafından (%50) domine edilen kommunité yapısı denemeler sonunda yerini nanofitoplanktona bırakmıştır. Artan CO_2 koşulları altında nanofitoplankton %90 oranında katkı yaparken kommunité ağırlıklı olarak *Phaeocystis* spp. tarafından domine edilmiştir. Öte yandan yüksek sıcaklık koşulları altında yürütülen denemelerde ise nanofitoplanktonun toplam biyomasın %85'ini oluşturduğu ve sistemin daha küçük hücreli nanoflagellatlar tarafından baskılandığı tespit edilmiştir. Her iki faktörün (CO_2 zenginleştirilmesi ve yüksek sıcaklık) incelendiği deneme grubunda ise dinoflagellatların baskın hale geçtiği ve

zararlı alg patlamalarına neden olan *Prorocentrum cordatum* türü tarafından domine edildiği görülmüştür. Araştırmacılar çalışma neticesinde ileriye dönük olarak artan sıcaklık ve yüksek CO₂ koşullarının eş zamanlı olarak fitoplankton verimliliği/fotosentezi üzerinde bir etki yaratmayacağına ancak kommunité yapısı üzerinde önemli değişimlere neden olacağına dikkat çekmişlerdir.

Karadeniz’de fitoplankton boy gruplarının birincil üretime (size-fractionated primary production) yaptığı katkının değerlendirildiği çalışmaların oldukça azınlıkta olduğu dikkat çekmektedir. Ağırbaş vd. (2017) Güneydoğu Karadeniz kıyılarında yürüttükleri mevsimsel çalışmada pikofitoplanktonik grupların toplam birincil üretim miktarlarının 69-2062 mgCm⁻²gün⁻¹ arasında değiştiğini tespit etmiştir. Nanofitoplanktonun yaptığı katkı 96-3156 mgCm⁻²gün⁻¹ değişirken mikrofıtoplanktonun yaptığı katkı ise 73-3363 mgCm⁻²gün⁻¹ arasında değiştiği rapor edilmiştir. İlgili çalışmada kış ve ilkbaharda mevsiminde mikrofıtoplankton en fazla katkı yapan grup olurken, üretim miktarları yaza doğru azalmıştır. Kış ve ilkbahar mevsiminde nanofıtoplankton katkısı önemli ölçüde artış göstermiştir. Yaz mevsiminde ise yüzey sularda pikofıtoplankton katkısı önemli oranda artış göstermiştir. Bu çalışmada ise mikrofıtoplankton en yüksek birincil üretim miktarlarıyla (6-6410 mgCm⁻²s⁻¹) öne çıkan grup olurken bunu nanofıtoplankton (9-3552 mgCm⁻²s⁻¹) ve pikofıtoplankton (1-946 mgCm⁻²s⁻¹) takip etmiştir. Bölgesel anlamda bir değerlendirme yapıldığında ise kıyısız bölge birincil üretim miktarlarının (43-8553 mgCm⁻²s⁻¹) açık bölgeden (41-4443 mgCm⁻²s⁻¹) önemli oranda yüksek olduğu tespit edilmiştir. Proje kapsamında Karadeniz’de ilk defa farklı CO₂ konsantrasyonlarına bağılı olarak fitoplankton boy gruplarının birincil üretime yaptıkları katkı değerlendirilmiştir. Bu bağlamda elde edilen verilerle kıyaslanacak benzer nitelikte çalışma olmadığı için karşılaştırma olanağı bulunmamaktadır. Ancak birincil üretim miktarları bakımından kıyaslandığında önceki yıllara göre üretim miktarlarının artış eğiliminde olduğu ve mikrofıtoplankton baskınlığının öne çıktığı tespit edilmiştir.

Diğer taraftan artırılmış CO₂ seviyelerine göre fitoplankton birincil üretimi üzerine farklı denizlerde yürütölen çalışmalar az da olsa bulunmaktadır. Tilstone vd. (2017) tarafından Kuzey Atlantik sub-tropikal gyre bölgelerinde doğal fitoplankton örneklerinde tek seferde yürütölen CO₂ zenginleştirme (760 ppm) deneylerinde nano-

ve pikoökaryot biyokütlesinin arttığı ancak kontrol grubuna (360 ppm) kıyasla birincil üretim miktarlarının azaldığı tespit edilmiştir. Dinoflagellat gruplarının baskın olduğu diğer deneylerde ise 760 ppm'lik CO₂ konsantrasyon koşulları altında fotosentezde %25'lik belirgin bir artış olduğunu rapor edilmiştir. Benzer şekilde bu çalışmada da artan CO₂ koşulları fitoplankton birincil üretimi üzerinde sinerjik bir etki yaratmıştır.

4.3. Fitoplankton Kommunité Yapısı

Karadeniz'de fitoplankton kommunité yapısı önemli mevsimsel salınımlar göstermektedir. Genel olarak fitoplankton dinamiği diatomların sorumlu olduğu ilkbahar patlaması, kokkolitofor *Emiliana huxleyi* ve dinoflagellatların sorumlu olduğu sonbahar patlamasından (Sorokin, 1983; Honjo vd., 1987; Vedernikov vd., 1993; Ediger, 2006) oluşan bir yapı sergilerken, 80'li yıllardan sonra ekosistemde meydana gelen önemli ekolojik değişimler beraberinde yaz patlamalarının da oluşmasına sebep olmuştur (Hay vd., 1990; Sur vd., 1996; Yılmaz vd., 1998; Yayla vd., 2001). Son yıllarda dinoflagellatların tür sayısı ve bolluğu giderek artarken özellikle yaz aylarında dinoflagellat baskın grup haline gelmiştir (Feyzioğlu, 1994; Feyzioğlu ve Seyhan, 2007). Genel olarak diatomlar fitoplankton biyomasına katkı yapan temel grup (%46) olarak değerlendirilirken, bunu %27'lik oranla dinoflagellatlar takip etmektedir (Zaitsev vd., 1997).

Mevsimsel dönemler halinde yürütülen bu çalışmada ise toplam 122 adet fitoplankton türü tespit edilmiştir. Tespit edilen türlerden 66'sını Dinophyceae türleri (%54), 50'sini Bacillariophyceae türleri (%41) ve 6'sını ise diğer taksonomik gruplar (%5) oluşturmuştur. İstasyonlarda genel olarak Dinophyceae türlerinin baskınlığı dikkat çekmektedir. Deneyler süresince fitoplankton tür kompozisyonunda meydana gelen değişim incelendiğinde ise zaman içerisinde tür çeşitliliğinde çok fazla değişim gözlenmezken fitoplankton bolluğunda iniş-çıkışlar tespit edilmiştir. Bu değişim gerek farklı CO₂ konsantrasyonlarıyla gerekse deneyler süresince değişen ışık koşullarıyla alakalı olabilir. Kış ve ilkbahar dönemi örneklerinde genel olarak dinoflagellat türlerinin baskınlığı dikkat çekerken ilkbahar döneminde yeni besin elementi girdisine bağlı olarak diatom gruplarında baskınlık önce çıkarken tür çeşitliliği açısından hiçbir dönem dinoflagellat tür baskınlığını aşmamıştır. Artan CO₂ konsantrasyonu bazı türlerin daha da baskın hale geçmesine neden olmuştur. Çalışma bölgesinde kalitatif

olarak tespit edilen tür sayılarının Karadeniz’de yürütülen diğer çalışmalara kıyasla dinoflagellat baskınlığının arttığı tespit edilmiştir. Gerek diatom gerekse dinoflagellat grupları genel anlamda mikrofıtoplanktonik grupları temsil ettiği için pigment oranlarına bağlı olarak hesaplanan fıtoplankton kommunité yapısıyla da uyum içerisinde olduğunu göstermektedir.

4.4. CO₂-Besin Elementi İlişkisi

4.4.1. Nitrit ve Nitrat

Denizlerde önemli azot kaynaklarının başında nitrat ve nitrit gelmektedir. Güney Karadeniz’de yapılan bir çalışmada toplam nitrit ve nitrat konsantrasyonunu 0,11-0,59 μM arasında rapor edilmiştir (Eker-Develi vd., 2003). Karadeniz’in Anadolu sahillerinde mevsimsel olarak yürütölen başka çalışmada ise toplam nitrit ve nitrat konsantrasyonunu 0,02- 4,14 μM olarak rapor etmişlerdir (Çoban-Yıldız vd., 2000). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından 1995-1999 yılları için toplam nitrit ve nitrat miktarı Karadeniz’in kıyı sularında 0,16-0,84 μM arasında değişim gösterirken açık sularda 0,14-0,30 μM arasında değişmektedir. Güney Doğu Karadeniz kıyılarında Ağırbaş (2010) tarafından yürütölen başka bir çalışmada ise toplam nitrit ve nitrat konsantrasyonu kıyı sularda 0,37-4,71 μM arasında değişim göstermişken, açık sularda 0,31-4,46 μM arasında değişim göstermiştir. Yine aynı bölgede yapılan başka bir çalışmada ise toplam nitrit-nitrat konsantrasyonu 0,12-16,99 $\mu\text{g-at/L}$ seviyesinde olduğu bildirilmiştir (Kopuz, 2012). Koca (2014) tarafından Güney Doğu Karadeniz (Rize) sahillerinde yürütölen başka bir çalışmada nitrit+nitrat konsantrasyonu 0,52-9,88 μM arasında değişim göstermiştir. Güneydoğu Karadeniz kıyıları (Artvin-Giresun) boyunca gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise toplam nitrit+nitrat konsantrasyonu 0,001- 2,12 μM değişim göstermiştir (Bakırcı, 2017). Başka bir çalışmada ise toplam nitrit+nitrat konsantrasyonu 0,19-9,30 μM arasında değişirken önemli mevsimsel dalgalanmalar göstermiştir (BAP- Ağırbaş, 2023).

Bu çalışmada ise mevsimsel olarak nitrit+nitrat konsantrasyonları sırasıyla yaz dönemi 0,001-4,43 μM , sonbahar dönemi 0,01-1,44 μM , kış dönemi 0,004-2,36 μM ve ilkbahar dönemi 0,02-2,13 μM ’dir.

Elde edilen bulgular Kopuz (2012) ve Koca (2014)’nin sonuçlarından düşük çıkarken diğer çalışmalardan rapor edilen bulgularla benzerlik göstermiştir.

Tablo 13. Karadeniz’de yapılan Nitrit ve Nitrat (μM) çalışmalarının karşılaştırılması

Bölge	Dönem	Nitrit ve Nitrat (μM)	Referans
Güney Karadeniz		0,11-0,59 μM	Eker-Develi vd., 2003
Anadolu sahilleri		0,02- 4,14 μM	Çoban-Yıldız vd., 2000
Karadeniz	1995-1999 kıyı	0,16-0,84 μM	Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü
GüneyDoğu Karadeniz	1995-1999 açık Kıyı	0,14-0,30 μM 0,37-4,71 μM	Ağırbaş (2010)
GüneyDoğu Karadeniz	Açık	0,31-4,46 μM 0,12-16,99 $\mu\text{g-at/L}$	Kopuz, 2012
GüneyDoğu Karadeniz		0,52-9,88 μM	Koca (2014)
Güneydoğu Karadeniz kıyıları (Artvin-Giresun)		0,001- 2,12 μM	Bakırcı, 2017
Güney Doğu Karadeniz (Rize)		0,19-9,30 μM	BAP-Ağırbaş, 2023
	Yaz	0,001-4,43 μM	Bu çalışma
	Sonbahar	0,01-1,44 μM	Bu çalışma
	Kış	0,004-2,36 μM	Bu çalışma
	İlkbahar	0,02-2,13 μM	Bu çalışma

4.4.2. Fosfat

Besleyici elementlerden fosfatın, Karadeniz’de karasal kaynaklardan desteklendiği ve yoğunluğunun özellikle nehir girdilerinden ve bunun yanı sıra fitoplankton aktivitelerinden etkilendiği birçok araştırmacı tarafından vurgulanmaktadır (Brewer ve Murray, 1973; Bologa, 1986; Zaitsev, 1991). Karadeniz’de fosfat konsantrasyonu zamana bağlı değişim göstermesine rağmen yüzey sularında ortalama fosfat konsantrasyonunun 0,419 μM olduğu belirtilmiştir (Sorokin, 1986). Kuzey Batı Karadeniz’de fosfat miktarının 6,387 μM ’e kadar yükseldiğini bildirmiştir (Bologa, 1986). Oğuz vd., (2008) Romanya kıyıları için 1959-65 dönemi için ortalama yıllık yüzey suyu fosfat konsantrasyonunun 0,26 μM , 1983-90 periyodu için 6,54 μM , 1991-2000 periyodu için 1.86 μM ve 2001-2005 periyodu içinse 0,49 μM olduğunu ve giderek azaldığını rapor etmiştir. Kıyısız bölgenin üst tabaka sularında ortalama fosfat değerleri 1995-1999 yılları için 0,03-0,27 μM arasında bulunmuştur (Kıdeyş vd.,

2000). Feyzioğlu (1996) Doğu Karadeniz’de aynı bölgede yaptığı çalışmada Haziran ve Temmuz döneminde fosfat miktarının yüksek olduğunu tespit etmiştir. Doğu Karadeniz’de yürütülen başka bir çalışmada en yüksek fosfat değeri Haziran ayında ölçülmüştür (Sivri, 1999). Ağırbaş (2010) tarafından Güney Doğu Karadeniz’de gerçekleştirilen başka bir çalışmada kıyı istasyonunda ortalama fosfat konsantrasyonu 0,002 μM (Kasım 2009)-0,052 μM (Haziran 2009) arasında değiştiği belirlenmiştir. Açık istasyonda ise bu değişim 0,002 μM (Kasım 2009)-0,068 μM (Haziran 2009) arasında gerçekleşmiştir. Yine aynı bölgede Kopuz (2012) tarafından yürütülen başka bir çalışmada ise fosfat konsantrasyonu 0,01-0,06 μM arasında değişim göstermiştir. Koca (2014) tarafından Güney Doğu Karadeniz (Rize) sahillerinde yürütülen başka bir çalışmada fosfat konsantrasyonu 0,03-0,90 μM arasında değişim göstermiştir. Bakırcı (2017), Güneydoğu Karadeniz kıyıları (Artvin-Giresun) boyunca fosfat konsantrasyonlarının 0,001-0,28 μM arasında değişim gösterdiğini rapor etmiştir. Bakırcı, en yüksek konsantrasyon sonbahar mevsiminde kaydederken en düşük değerleri kış mevsiminde okumuştur. Başka bir çalışmada ise orto-fosfat konsantrasyonları 0,02-37,83 μM arasında değişim göstermiştir (BAP- Ağırbaş, 2023). Bu çalışmada ise mevsimsel olarak ortalama fosfat konsantrasyonları sırasıyla yaz dönemi 0,05-40,71 μM , sonbahar dönemi 0,04-2,07 μM , kış dönemi 0,002-38,82 μM ve ilkbahar dönemi 0,002-27,28 μM ’dir.

Mevcut çalışmadan elde edilen bulgular önceki yıllara göre değerlendirildiğinde orto-fosfat konsantrasyonlarının önemli oranda yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu durumun bölgesel farklılıklardan kaynaklanabileceği gibi farklı zamanlarda yapılan örneklemeler ile iklim değişikliğine bağlı olarak su kolonunda meydana gelen değişikliklerden de kaynaklanması muhtemeldir.

Tablo 14. Karadeniz’de yapılan Fosfat Değerleri (μM) çalışmalarının karşılaştırılması

Bölge	Dönem	Fosfat Değerleri (μM)	Referans
Karadeniz		0,419	Sorokin, 1986
Karadeniz		6,387	Bologa, 1986
Romanya kıyıları	1959-65	0,26	Oğuz vd., (2008)
	1983-90	6,54	
	1991-2000	1.86	
	2001-2005	0,49	
	1995-1999	0,03-0,27	Kıdeyş vd., 2000
GüneyDoğu Karadeniz	Kasım 2009 kıyı	0,002	Ağırbaş (2010)
	Haziran 2009 kıyı	0,052	
	Kasım 2009 açık	0,002	
	Haziran 2009 açık	0,068	
GüneyDoğu Karadeniz		0,01-0,06	Kopuz , 2012
GüneyDoğu Karadeniz		0,03-0,90	Koca (2014)
GüneyDoğu Karadeniz		0,001-0,28	Bakırcı (2017)
GüneyDoğu Karadeniz		0,02-37,83	(BAP-Ağırbaş, 2023).
	Yaz	0,05-40,71	Bu çalışma
	Sonbahar	0,04-2,07	Bu çalışma
	Kış	0,002-38,82	Bu çalışma
	İlkbahar	0,002-27,28	Bu çalışma

4.4.3. Silikat

Deniz suyunun silikat konsantrasyonu genel olarak kış döneminde yüzey sularında 7- 15 μM arasında değişirken yaz döneminde bu değer 0,35 μM 'e kadar düşebilmektedir (Tait, 2001). Karadeniz'de yoğun diatom bloomları sonrasında silikat konsantrasyonu azalırken nehir girdileri ve yağışlarla konsantrasyonu tekrar yükselmektedir (Ivanov, 1985; Bologa, 32 1986). Oğuz vd., (2008) Romanya kıyıları için 1959-65 dönemi için ortalama yıllık yüzey suyu silikat konsantrasyonunun 40,5 μM , 1983-90 periyodu için 11,0 μM , 1991-2000 periyodu için 12,6 μM ve 2001-2005 periyodu içinse 13,7 μM olduğunu rapor etmiştir. Karadeniz'e toplam tatlı su girdisinin %70'ini oluşturan Tuna nehrinden gelen reaktif silikat konsantrasyonunda 1970'li yıllarda baraj açılmasını takiben günümüze kadar 2/3 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucunda Karadeniz yüzey sularında reaktif silikatın %60 oranında azaldığı gözlenmiştir. Reaktif silikattaki bu azalma fitoplankton

kompozisyonlarında 1990'lı yılların başında dramatik değişimlere neden olmuştur (Kıdeyş vd., 2000). Güney Doğu Karadeniz kıyılarında yürütülen başka bir çalışmada ise silikat konsantrasyonu 1,20-14,08 μM arasında değiştiği rapor edilmiştir (Ağırbaş, 2010). Yine aynı bölgede gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise silikat konsantrasyonu 0,37-16,63 μM arasında değişim göstermiştir (Kopuz, 2012). Koca (2014) tarafında yürütülen başka çalışmada ise silikat konsantrasyonları 1,92-16,25 μM arasında değişim göstermiştir. Başka bir çalışmada silikat değerleri 0,01-13,63 μM arasında değişirken en yüksek konsantrasyonlar yoğun dikey karışımların olduğu ve fitoplanktonik aktivitenin düşük olduğu sonbahar döneminde gözlenmiştir (Bakırcı, 2017). Başka bir diğer çalışmada ise reaktif silikat konsantrasyonları 1,67-24,08 μM arasında değişim göstermiştir (BAP- Ağırbaş, 2023).

Bu çalışmada ise mevsimsel olarak inceleme yaptığımızda yaz dönemi silikat değerleri 2,37-66,99 μM , sonbahar dönemi 1,36-5,54 μM , kış dönemi 3,42-9,72 μM ve ilkbahar dönemi 6,78-19,87 μM arasında değişim göstermiştir. Çalışmadan elde edilen değerlerin yukarıdaki literatür bulguları ile genel anlamda örtüştüğü görülmüştür. Gözlemlenen bazı farklılıkların ise bölgesel farklılıktan kaynaklandığı gibi fitoplanktonik aktiviteden de kaynaklanması muhtemeldir.

Tablo 15. Karadeniz’de yürütülen silikat çalışmaları

Bölge	Dönem	Silikat Değerleri (μM)	Referans
Karadeniz	Kış Dönemi	7,15	Tait, 2001
	Yaz Dönemi	0,35	
	1959-1965	40,5	Oğuz vd., (2008)
	1983-1990	11,0	
Romanya Kıyıları	1991-2000	12,6	
	2001-2005	13,7	
GüneyDoğ Karadeniz	-	1,20-14,08	Ağırbaş, 2010
GüneyDoğ Karadeniz	-	0,37-16,63	Kopuz, 2012
GüneyDoğ Karadeniz	-	1,92-16,25	Koca, 2014
GüneyDoğ Karadeniz	-	0,01-13,63	Bakırcı, 2017
GüneyDoğ Karadeniz	-	1,67-24,08	BAP-(Ağırbaş, 2023)
GüneyDoğ Karadeniz	Yaz	2,37-66,99	Bu çalışma
GüneyDoğuKaradeniz	Sonbahar	1,36-5,54	Bu çalışma
GüneyDoğuKaradeniz	Kış	3,42-9,72	Bu çalışma
Güney Doğu Karadeniz	İlk Bahar	6,78-19,87	Bu çalışma

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, Karadeniz’de ilk defa yürütülen bu çalışma ile diğer denizlerde yürütülen çalışmalardan farklı olarak zenginleştirilmiş CO₂ ve farklı sıcaklık koşulları altında fitoplankton boy gruplarının birincil üretim miktarlarının (size-fractionated primary production) nasıl değiştiği belirlenmiştir. Denemeler kültüre edilmiş gruplar yerine *in-situ* olarak örneklenen doğal fitoplankton örnekleri üzerinden yürütüldüğü için gerçek durum daha doğru bir şekilde ortaya konulmuştur. Çalışmanın mevsimsel sıcaklık ve ortam sıcaklığının +3°C üstü sıcaklıklarda yürütülmüş olması CO₂ ve sıcaklık değişimlerinin ortak etkisini ortaya koymaya yardımcı olmuştur. Çalışma ile besin zincirinin temelini oluşturan fitoplankton boy gruplarının öngörülen iklim senaryoları (asidifikasyon ve ısınma) karşısında birincil üretim miktarlarının nasıl değişeceği belirlenmiş ve dünya denizleri içerisinde özel bir yeri olan Karadeniz ekosisteminin verimliliği hakkında ileriye dönük projeksiyonlar üretilmesine katkı sağlayacağına inanılmaktadır. Çalışma sonuçları bu alanda literatürdeki önemli bir eksiklik gidermiş olmakla birlikte ileriye dönük yapılacak çalışmalar için referans niteliğinde bir çalışma olduğu düşünülmektedir. Çalışmanın son ayında yapılan kolokyum ile çalışma sonuçları bölgesel ve ulusal anlamda bilim insanları, yerel yönetimler ve karar vericilerle buluşturulmuş, Karadeniz ekosisteminin sürdürülebilir yönetimi ve alınması gereken önlemler konusunda yol gösterici çıktılar ortaya koymuştur.

Karadeniz sahip olduğu kendine has dinamikleri ile sürekli izlenmesi gereken bir deniz özelliğindedir. Diğer taraftan ülkemiz balıkçılığı açısından da büyük bir önem taşımaktadır. Mevcut çalışma ile Güney Doğu Karadeniz Kıyıları boyunca birincil üretim miktarları mevsimsel olarak hesaplanmış ve bölgenin dinamikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ancak daha sık periyotlarda ve daha geniş alanları nitelendirecek şekilde çalışmaların planlanması sistemin daha iyi anlaşılabilmesine olanak tanıyacağı düşünülmektedir.

Yapılan C-14 deneyleri bölge için yeterli görülmekle birlikte gerçek durumu daha kesin olarak ortaya koyabilmek ve Karadeniz için genelleyebilmek adına uzun vadeli çalışmaların gerekliliği de göz ardı edilmemelidir. Çalışma alanlarının genişletilmesi ve çalışmalardaki sürekliliğin devamlılığı diğer bölgelerle ve hatta dünyanın diğer denizleri ile karşılaştırılma olanağını da arttıracaktır.

Karadeniz ekosistemi, iklimsel değişimlere karşı son derece hassas bir denizdir. Değişen iklim koşulları altında fitoplankton biyomasındaki değişimlerin ve grup oranlarının sürekli izleme programları ile takip edilmesi sucul ekosistemler hakkında ileriye daha sağlıklı fikir verecektir. İklim senaryoları deniz suyu pH miktarında önümüzdeki yıllarda asitliğinin (okyanus asidifikasyonu) artacağını öngörmektedir. Bu durum küresel ısınmanın bir sonucu olup, suyun kimyasal bileşimini değiştirmekle birlikte, okyanuslardaki biyoçeşitliliği tehdit etmektedir. Okyanus asidifikasyonunun özellikle Karadeniz’e olan etkilerine yönelik projelerin desteklenmesi büyük önem arz etmektedir.



KAYNAKÇA

- Ağırbaş, E., Gedik, K., Dizman, S., Mutlu, T., Şahin A., Fidan, D., ve Feyzioğlu, A.M. 2017. Güneydoğu Karadeniz'de CO₂ Zenginleştirmesinin ve Sıcaklık Değişimlerinin Fitoplankton Birincil Üretimi Üzerine Olan Mevsimsel Etkisinin Araştırılması, TÜBİTAK 1001 Proje Sonuç Raporu, 80 s.
- Ağırbaş, E., 2010. Güneydoğu Karadeniz'de Pigment Konsantrasyonu ve Birincil Üretimin Çevre Koşulları ile Etkileşimi, Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye, 199s.
- Ağırbaş, E., Martinez-Vicente, V., Brewin, R.J.W., Racault, MF., Airs, RL., and Llewellyn, C.A., 2015. "Temporal changes in total and size-fractionated chlorophyll-a in surface waters of three provinces in the Atlantic Ocean (September to November) between 2003 and 2010", Journal of Marine Systems, 150; 56-65.
- Ağırbaş, E., Ceylan, Y., Fidan, D., Nur, S., ve Helvacı, M., 2023. Güney Doğu Karadeniz Kıyıları (Rize) Hidrografik Ve Ekolojik Özellikleri İzleme Programı, BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ KOORDİNASYON BİRİMİ FBA-2021-1265 Nolu Proje Sonuç Raporu, 50 s.
- Aiken, J., Pradhan Y., Barlow R., Lavender S., Poulton A., Holligan P., Hardman and Mountford, N. 2009. "Phytoplankton pigments and functional types in the Atlantic Ocean: A decadal assessment, 1995-2005", Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography, 56 (15), 899-917.
- Alley, R.B., Berntsen, T., Bindoff, N.L., Chen, Z. et al. 2007. Summary for Policymakers. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Apha, A., Wef. 2011. Standard methods for the examination of water and wastewater. In: E.W., Rice, A. D., Eaton, R. B., Baird, L. S., Clesceri (Eds) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington, D.C., New York.
- Bakırcı, M. 2017. Güney Doğu Karadeniz Kıyıları (Artvin-Giresun) Birincil Üretim Miktarlarının Mevsimsel Değişimi, Yüksek Lisans Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 99s.
- Balech, E. 1988. "Los dinoflaelados del Atlantici sudoccidental", Madrid: Publicaciones Especiales, Instituto Espanol de Oceanografia.
- Barlow, R.G., Aiken, J., Moore, G.F., Holligan, P.M. and Lavender, S. 2004. "Pigment adaptations in surface phytoplankton along the eastern boundary of the Atlantic Ocean", Marine Ecology Progress Series, 281, 13-26.
- Beardall, J., Stojkovic, S., and Larsen, S. 2009. "Living in a high CO₂ world: impacts of global climate change on marine phytoplankton", Plant Ecology and Diversity, 2, 191-205.

- Bologa, A. S. and Frangopol, P.T., 1979. "The Use of ^{14}C Method by Liquid Scintillation Counting for Estimating Planktonic Primary Productivity off The Romanian Black Sea Coast, Cercetari Marine", 12, 81-86.
- Bologa, A. S., 1986. Planktonic Primary Productivity of the Black Sea: A Review, *Thalassia Jugoslavica*, 21-22, 1-2, 1-22.
- Bologa, A.S., Skolka, H.S. and Frangopol, P.T., 1984. "Annual cycle of planktonic primary productivity off the Romanian Black Sea Coast, Marine Ecology Progress Series", 19, 25-32.
- Boyce, D.G., Lewis, M.R., Worm, B., 2010. "Global phytoplankton decline over the past century", *Nature*, 466 (7306), 591-596.
- Charlson, R.J., Lovelock, J.E., Andreae, M.O., and Warren, S.G. 1987. "Ocean phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate", *Nature*, 326, 655-661.
- Çoban-Yıldız, Y., Tuğrul, S., Ediger, D., Yılmaz, A. ve Polat, S.C., 2000. A Comparative Study on the Abundance and Elemental Composition of POM in three Interconnected basins: the Black, the Marmara and the Mediterranean Seas, *Mediterranean Marine Science*, 1, 51-63.
- Danovaro, R., Dell'Anno, A., Fabiano, M., Pusceddu, A., Tselepides, A. 2001. "Deep-sea ecosystem response to climate changes: the eastern Mediterranean case study", *TREE*, 16, 505-510.
- Doney, S.C., Fabry, V.J., Feely, R.A., Kleypas, J.A., 2009. "Ocean acidification: the other CO₂ problem", *Annual Review of Marine Science*, 1, 169-192.
- Drebes, G. 1974. "Marines phytoplankton, eine auswahl der Hegolaender planktonagen (Diatomeen, peridineen)", Georg Thieme, Stuttgart, 286 s.
- Ediger, D., Soydemir, N. and Kideys, A.E. 2006. "Estimation of phytoplankton biomass using HPLC pigment analysis in the Southwestern Black Sea", *Deep-Sea Research Part II*, 53, 1911-1922.
- Edwards, M., Johns, D., Leterme, S. C., Svendsen, E., and Richardson, A. J. 2006. "Regional climate change and harmful algal blooms in the northeast Atlantic", *Limnology and Oceanography*, 51, 820-829.
- Eker, E., 1999. Abundance and biomass of micro and nanophytoplankton in the northwestern and southern Black Sea in 1995. Master Thesis, Middle East Technical University, IMS, Erdemli, Icel, Turkey, 212 pp.
- Eker-Develi, E, and Kideys, A.E., 2003. "Distribution of phytoplankton in the southern Black Sea in summer 1996, spring and autumn 1998", *Journal of Marine Systems*, 39, 203-211.

- Eker-Develi, E., Berthon, J.F., Canuti, E., Slabakova, N., Moncheva, S., Shtereva, G., and Dzhurova, B., 2012. "Phytoplankton taxonomy based on CHEMTAX and microscopy in the Northwestern Black Sea", *Journal of Marine Systems*, 94, 18-32.
- Elzenga, J.T.M., Prins, H.B.A., Stefels, J. 2000. "The role of extracellular carbonic anhydrase activity in inorganic carbon utilization of *Phaeocystis globosa* (Prymnesiophyceae): a comparison with other marine algae using the isotopic disequilibrium technique", *Limnology and Oceanography*, 45, 372-380.
- Eppley, R.W. 1972. "Temperature and phytoplankton growth in the sea", *Fishery Bulletin*, 70, 1063-1085.
- Erüz, C., 1999. Güneydoğu Karadeniz kıyılarında su kütleleri ve askıda katı maddenin mevsimsel değişim. (Doktora Tezi) Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Trabzon, Türkiye, 120s.
- Falciatore, A., d'Alcalà M.R., Croot, P., and Bowler, C. 2000. "Perception of environmental signals by a marine diatom", *Science*, 288, 2363-2366.
- Falkowski, P.G. and Raven, J.A. 2007. *Aquatic photosynthesis*, 2nd edition. Princeton University Press.
- Feng, Y., Hare, C.E., Leblanc, K., Rose, J.M., Zhang, Y., DiTullio, G.R., Lee, P.A., Wilhelm, S.W., Rowe, J.M., Sun, J., Nemcek, N., Gueguen, C., Passow, U., Benner, I., Brown, C., Hutchins, D.A. 2009. "Effects of increased pCO₂ and temperature on the North Atlantic spring bloom. I. "The phytoplankton community and biogeochemical response", *Marine Ecology Progress Series*, 388, 13-25.
- Feng, Y., Hare, C.E., Rose, J.M., Handy, S.M., DiTullio, G.R., Lee, P.A., Smith, W.O., Peloquin, J., Tozzi, S., Sun, J., Zhang, Y., Dunbar, R.B., Long, M.C., Sohst, B., Lohan, M., Hutchins, D.A. 2010. "Interactive effects of iron, irradiance and CO₂ on Ross Sea Phytoplankton", *Deep Sea Res. Part I*, 57 (3), 368-383.
- Feng, Y., Warner, M.E., Zhang, Y., Sun, J., Fu, F.-X., Rose, J.M., Hutchins, D.A. 2008. "Interactive effects of increased pCO₂, temperature and irradiance on the marine coccolithophore *Emiliania huxleyi* (Prymnesiophyceae)", *European Journal of Phycology*, 43, 87-98.
- Feyzioğlu, A.M., 1994. Seasonal changes at the net phytoplankton living Trabzon coasts of Eastern Black Sea. *Turkish Journal of Biology* 18, 161-171.
- Feyzioğlu, A.M., 1996. Doğu Karadeniz Kıyısı Ekosisteminde Fitoplankton Dinamiğindeki Mevsimsel Değişimler, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 120 s.
- Feyzioğlu A.M., Seyhan, K., 2007. Phytoplankton composition of south east Black Sea Coast. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment* 13, 61-71.

- Fogg, G.E., 1975. Primary Productivity, Chemical Oceanography, 2, 2nd Ed., Academic Press, London, 385-453.
- Fukuyo, Y., Takano H., Chihara M., Matsuoka, K. 1990. "Red tide organisms in Japan (An illustrated taxonomic guide)", Tokyo: Uchida Rokakuho Publishing, 407 pp.
- Gao, G., Jin, P., Liu, N., Li, F., Tong, S., Hutchins, D.A., and Gao, K. 2017. "The acclimation process of phytoplankton biomass, carbon fixation and respiration to the combined effects of elevated temperature and pCO₂ in the northern South China Sea", Marine Pollution Bulletin, 118, 213-220.
- Gargas, E. 1975. A Manual for Phytoplankton Primary Production Studies in the Baltic, the Baltic Marine Biologist in Cooperation with the Danish Agency of Environmental.
- Giordano, M., Beardall, J., Raven, J.A. 2005. "CO₂ concentrating mechanisms in algae: mechanisms, environmental modulation, and evolution", Annual Review of Plant Biology, 56, 99-131.
- Hay, B., Honjo, S., Kempe, S., Ittekkot, V.A., Degens E.T., Konuk, T. and İzdar, E. 1990. "Interannual Variability in Particle flux in the Southwestern Black Sea", Deep-Sea Research, 37, 911-928.
- Honjo, S., Hay, B., Manganini, S.J., Degens, E.T., Kempe, S., Ittekkot, V.A., İzdar, E., Konuk, T. and Benli, H.A. 1987. "Seasonal Cyclicity of Lithogenic Particle Fluxes at a Southern Black Sea Sediment Trap Station", Mitt. Geol.-Palaont. Inst., University of Hamburg, F.R.G., 19-39.
- Houghton, R.A. 2001. Counting terrestrial sources and sinks of carbon. Climatic Change 48. 525-534.
- IPCC. 2013. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York: Cambridge University Press. 1535 pp.
- Ivanov, L., 1985. The Fisheries Resources of the Mediterranean Part Two: Black Sea, Etud. Rev, CGPM/ Stud. Rev, GFCM, 115 s.
- Jeffrey, S.W. and Vesk, M. 1997. Introduction to marine phytoplankton and their pigment signatures. Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines to Modern Methods. Ed.: Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C., Wright, S.W. Paris: UNESCO, Paris, pp. 19-36.
- Karadeniz, M.N., 2018. Güneydoğu Karadeniz Fitoplankton Pigment Profili Ve Fitoplankton Boy Grupları, Yüksek Lisans Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize, Türkiye, 60s.

- 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, Processes, Systems and Impacts*, Oxford University Press, 557.
- Keys, M., Tilstone, G., Findlay, H.S., Widdicombe, C.E., Lawson, T. 2018. "Effects of elevated CO₂ and temperature on phytoplankton community biomass, species composition and photosynthesis during an experimentally induced autumn bloom in the western English Channel", *Biogeosciences*, 15, 3203-3222.
- Keys, M., Tilstone, G., Findlay, H.S., Widdicombe, C.E., Lawson, T. 2017. "Effects of elevated CO₂ on phytoplankton community biomass and species composition during a spring *Phaeocystis* spp. bloom in the western English Channel", *Harmful Algae*, 6, 92-106.
- Kıdeys, A. E., Mutlu, E., Oğuz, T., Okyar, M., Özsoy, E., Tuğrul, S. ve Yılmaz, A., 2000. Akdeniz, Marmara Denizi, Türk Boğazlar Sistemi, Karadeniz ve Atmosfer Alt Projeleri, DAP ve Ulusal Deniz Araştırma ve İzleme Programı, 239-335 s.
- Kim, J.M., Lee, K., Shin, K., Kang, J.H., Lee, H.W., Kim, M., Jang, P.G., Jang, M.C. 2006. "The effect of seawater CO₂ on growth of a natural phytoplankton assemblage in a controlled mesocosm experiment", *Limnology and Oceanography*, 51(4), 1629-1636.
- King, A.L., Jenkins, B.D., Wallace, J.R., Liu, Y., Wikfors, G.H., Milke, L.M., Meseck, S.L. 2015. "Effects of CO₂ on growth rate, C:N:P, and fatty acid composition of seven marine phytoplankton species", *Marine Ecology Progress Series*, 537, 59-69.
- Koca, L., 2014. Güney Doğu Karadeniz Kıyıları (Rize) Diatom/Dinoflagellat Oranları ve Pigment Kompozisyonun Zamansal Değişimi, Yüksek Lisans Tezi. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 73 s.
- Kondratiev, S. I., Medvedev, E. V., Konovalov, S. K. 2017. "Total Alkalinity and pH in the Black Sea Waters in 2010-2011", *Physical Oceanography*, 4, 35-45.
- 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 II, 51, 1063-1091.
- Kopuz, U., 2012. Mikrobiyal Döngüde Pikoplankton Dinamiği ve Güneydoğu Karadeniz Pelajik Besin Zincirindeki Önemi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye. 112 s.
- Kopuz, U., Feyzioğlu, A.M., Agirbas, E. 2012. "Picoplankton Dynamics during Late Spring 2010 in the South-Eastern Black Sea", *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12, 397-405.

- Krupatkina, D. K. and Berseneva, G. P., 1995. Primary production and chlorophyll -a in the Black Sea in Winter and Autumn Seasons, *Oceanology*, 34, 6, 775-779.
- Le Que're, C., Peters, G.P., Andres, R.J., Andrew, R.M., Boden, T., Ciais, P., Friedlingstein, P., et al. 2013. "Global carbon budget", *Earth System Science Data Discussions*, 6, 689-760.
- Leonardos, N., Geider, R.J. 2005. "Elevated atmospheric carbon dioxide increases organic carbon fixation by *Emiliana huxleyi* (Haptophyta), under nutrientlimited high-light conditions", *Journal of Phycology*, 41, 1196-1203.
- Liu, N., Tong, S., Yi, X., Li, Y., Li, Z., Miao, H., Wang, T., Li, F., Yan, D., Huang, R., Wu, Y., Hutchins, D.A., Beardall, J., Dai, M., Gao, K. 2017. "Carbon assimilation and losses during an ocean acidification mesocosm experiment, with special reference to algal blooms", *Marine Environmental Research*, 129, 229-235.
- Lomas, M., Hopkinson, B., Losh, J., Ryan, D., Shi, D., Xu, Y., and Morel, F. 2012. "Effect of ocean acidification on cyanobacteria in the subtropical North Atlantic", *Aquatic Microbial Ecology*, 66, 211-222.
- Mackas, D.L. 2011. "Does blending of chlorophyll data bias temporal trend?", *Nature*, 472 (7342), E4-E5.
- Marañón, E. 2009. Phytoplankton size structure. In: Steele, J.H., Turekian, K., Thorpe, S.A. (Eds.), *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, Oxford.
- Matthäus, W. 2006. "The history of investigation of salt water inflow into the Baltic Sea—from the early beginning to the recent results". *Marine Science Reports*, No. 65, Baltic Sea Research Institute, Warnemünde, 81 pp.
- Matthäus, W., Frank, H. 1992. "Characteristics of major Baltic inflows—a statistical analysis", *Continental Shelf Research*, 12, 1375-1400.
- Maugendre, L., Gattuso, J.P., Louis, J., Kluijver, A., Marro, S., Soetaert, K., Gazeau, F. 2015. "Effect of ocean warming and acidification on a plankton community in the NW Mediterranean Sea", *ICES Journal of Marine Science*, 72(6), 1744-1755.
- Mikaelyan, A.S., Chasovnikov, V.K., Kubryakov, A.A., Stanichny, S.V. 2017. "Phenology and drivers of the winter- spring phytoplankton bloom in the open Black Sea: The application of Sverdrup's hypothesis and its refinements", *Progress in Oceanography*, 151, 173-176.
- Miladinova, S., Stips, A., Garcia-Gorritz, E., Macias Moy, D. 2016. "Changes in the Black Sea physical properties and their effect on the ecosystem", EU, JRC, Technical Reports, EUR 28060 EN; doi:10.2788/757417
- Millie, D. F., Paerl, H.W. and Hurley, J.P., 1993. Microalgal pigment assessments using High Performance Liquid Chromatography: a synopsis of organismal

- and ecological applications, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50, 2513-2527.
- Millie, D.F., Schofield, O.M., Kirkpatrick, G.J., Johnsen, G., Tester, P.A. and Vinyard, B.T. 1997. "Detection of harmful algal blooms using photopigments and absorption signatures: A case study of the Florida red tide dinoflagellate, *Gymnodinium breve*", *Limnology and Oceanography*, 42(5), 1240-1251.
- Miller, C.B., 2004. *Biological Oceanography*, Wiley-Blackwell Publishing, 416
- Müller, T. J. 2007. "Determination of salinity. *Methods of Seawater Analysis*", Wiley-VCH Verlag GmbH: 41-73.
- Nagata, T., Takai, K., Kawabata, K.I., Nakanishi, M., Urabe, J. 1996. "The trophic transfer via a picoplankton-flagellate-copepod food chain during a picocyanobacterial bloom in Lake Biwa", *Archiv für Hydrobiologie*, 137, 145-160.
- Nair, A., Sathyendranath, S., Platt, T., Morales, J., Stuart, V., Forget, M.H., Devred, E., Bouman, H. 2008. "Remote sensing of phytoplankton functional types", *Remote Sensing Environment*, 112, 3366-3375.
- Nimer, N.A., Merrett, M.J. 1996. "The development of a CO₂-concentrating mechanism in *Emiliania Huxleyi*", *The new Phytologist*, 133, 383-389.
- Oguz, T., Dippner, J.W., 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.
- Oğuz, T., Velikova, V., Cociasu, A. and Korchenko, A., 2008. State of the Environment Report 2001-2006/7, the State of Eutrophication, 83-112 p.
- Orr, J. 2011. Recent and future changes in ocean carbonate chemistry. In *Ocean Acidification*. Ed.: Gattuso, J.P. and Hanson, L. Oxford: Oxford University Press.
- Orr, J.C., Bopp, L.J., Fabry, V.J., Aumont, O., Doney, S.C., Feely, R.A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R.G., Plattner, G.K., Rodgers, K.B., Sabine, C.L., Sarmiento, J.L., Schlitzer, R., Slater, R.D., Totterdell, I.J., Weirig, M.F., Yamanaka, Y., Yool, A. 2005. "Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms", *Nature*, 437, 681-686.
- Parsons, T. R., Maita, Y., Lalli, C. 1984. *Manual of Chemical and Biological Methods for Sea Water Analysis*. Great Britain: Pergamon Press.
- Pierrot, D., Lewis, E., Wallace, D.W.R. 2006. MS Excel program developed for CO₂ system calculations. ORNL/CDIAC-105a. Carbon Dioxide Information

Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge, Tennessee: US Department of Energy.

- Polonsky, A. 2012. "Had Been Observing the Acidification of the Black Sea Upper Layer in XX Century?", *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12, 391-396.
- Rampi, L., Bernard, M. 1978. "Key for the determination of Mediterranean pelagic diatoms", Roma: Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare.
- Raven, J., Caldeira, K., Elderfield, H.H., et al. 2005. "Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide", R. Soc. Policy document, 12/05.
- Riebesell, U. 2004. "Effects of CO₂ enrichment on marine phytoplankton", *Journal of Oceanography*, 60, 719-729.
- Riebesell, U., Schulz, K.G., Bellerby, R.G.J., Botros, M., Fritsche, P., Meyerhöfer, M., Neill, C., Nondal, G., Oschlies, A., Wohlers, J., Zöllner, E. 2007. "Enhanced biological carbon consumption in a high CO₂ ocean", *Nature*, 450, 545-548.
- Riebesell, U., Tortell, P. D. 2011. Effects of ocean acidification on pelagic organisms and ecosystems. In *Ocean Acidification*. Ed.: Gattuso, J.P. and Hanson, L. Oxford: Oxford University Press.
- Rost, B., Zondervan, I., Wolf-Gladrow, D. 2008. "Sensitivity of phytoplankton to future changes in ocean carbonate chemistry: current knowledge, contradictions and research directions", *Marine Ecology Progress Series*, 373, 227-237.
- Sabine, C.L. and Feely, R.A. 2007. The oceanic sink for carbon dioxide. *Greenhouse Gas Sinks*. Ed.: Reay, D., Hewitt, N., Grace, N.J. and Smith, K., Oxfordshire, UK: CABI Publishing.
- Sarmiento, J.L., Slater, R., Barber, R., Bopp, L., Doney, S.C., Hirst, A.C., Kleypas, J., Matear, R., Mikolajewicz, U., Monfray, P., Soldatov, V., Spall, S.A., Stouffer, R. 2004. "Response of ocean ecosystems to climate warming", *Global Biogeochem.Cycles*, 18.
- Schulz, K.G., Riebesell, U., Bellerby, R.G.J., Biswas, H., Meyerhöfer, M., Müller, M.N., Egge, J.K., Nejstgaard, J.C., Neill, C., Wohlers, J., Zöllner, E. 2008. "Build-up and decline of organic matter during PeECE III", *Biogeosciences*, 5, 707-718.
- Sezgin, M., Bat, L., Katagan, T., Ates, S., 2010. "Likely effects of global climate change on the Black Sea benthic ecosystem" *The Journal of Environmental Protection and Ecology*, 11(1): 238-246
- Shi, D., Li, W., Hopkinson, B.M., Hong, H., Li, D., Kao, S.J., Lin, W. 2015. "Interactive effects of light, nitrogen source, and carbon dioxide on energy

- metabolism in the diatom *Thalassiosira pseudonana*”, *Limnology and Oceanography*, 60, 1805-1822.
- Sivri, N., 1999. Solaklı Deresi Girdilerinin Kıyısal Pelajik Ekosisteme Etkileri, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Smetacek, V. and Cloern, J. E. 2008. “On Phytoplankton Trends”, *Science*, 319, 1346-1348.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J. 1969. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Sorokin, Yu. I., (1983). The Black Sea. In: Ketchum, B. H. (eds) *Ecosystems of the world estuaries and enclosed seas*. Elsevier, Amsterdam, p. 253-291.
- Spector, D. L. 1984. “Dinoflagellates”, Academic Press, Florida, 545 s.
- Stelmakh, L. V., Yunev, O. A., Finenko, Z. Z., Vedernikov, V. I., Bologa, A.S., and Churilova, T. Y., 1998. Peculiarities of Seasonal Variability of Primary Production in the Black Sea, In: *Ecosystem Modeling as management Tool for the Black Sea* (Ivanov, L. I., Oguz, T., Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1, 93-104
- Sur, H.I., Özsoy, E., Ilyin, Y.P. and Ünlüata, U. 1996. “Coastal/Deep Ocean Interactions in the Black Sea and their Ecological/Environmental Impacts”, *Journal of Marine Systems*, 7, 293-320.
- Tait, R.V. 1988. *Elements of Marine Ecology*, Third Edition, Univeristy Press (utterworth-Heinemann), Cambridge, 366 p.
- Takahashi, T., Sutherland, S.C., Sweeney, C., Poisson, A., Metzl, N., Tilbrook, B., Bates, N., Wanninkhof, R., Feely, R.A., Sabine, C., Olafsson, J. and Nojiri, Y. 2002. “Global sea-air CO₂ flux based on climatological surface ocean pCO₂, and seasonal biological and temperature effects”, *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography*, 49(9-10), 1601-1622.
- Ter Braak, C.J.F., Smilauer, P. 2002. *Canoco reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: Software for canonical community ordination (version 4.5)*. Ithaca: Microcomputer power.
- Thøiesen, C., Riisgaard, K., Lundholm, N., Nielsen, T., Hansen, P. 2015. “Effect of acidification on an Arctic phytoplankton community from Disko Bay: West Greenland”, *Marine Ecology Progress Series*, 520, 21-34.
- Tilstone, G., Sediva, B., Tarran, G., Kana, R., Prasil, O. 2017. “Effect of CO₂ enrichment on phytoplankton photosynthesis in the North Atlantic sub-tropical gyre”, *Progress in Oceanography*, 158, 76-89.
- Tomas, C. R. 1993. “*Marine Phytoplankton, A Guide to Naked Flagellates and Coccolithophotids*”, Academic Press”, London, 263 s.

- Tomas, C. R. 1996. "Identification Marine Diatoms and Dinoflagellates", Academic Press, San Diego, 598 s.
- Tortell, P., DiTullio, G., Sigman, D., Morel, F. 2002. "CO₂ effects on taxonomic composition and nutrient utilization in an Equatorial Pacific phytoplankton assemblage", Marine Ecology Progress Series, 236, 37-43.
- Tortell, P.D., Payne, C.D., Li, Y., Trimborn, S., Rost, B., Smith, W.O., Riesselman, C., Dunbar, R., Sedwick, P., DiTullio, G.R., 2008. "CO₂ sensitivity of southern ocean phytoplankton", Geophysical Research Letters, 35, L04605.
- Tortell, P.D., Rau, G.H., Morel, F.M.M. 2000. "Inorganic carbon acquisition in coastal Pacific phytoplankton communities", Limnology and Oceanography, 45, 1485-1500.
- Vedernikov, V.I. and Demidov, A.B. 1993. "Primary production and chlorophyll in the deep regions of the Black Sea", Oceanology, 33, 229-235.
- Wedborg, M., Turner, D.R., Anderson, L.G. and Dyrssen, D. 2007. "Determination of pH. Methods of Seawater Analysis", Wiley-VCH Verlag GmbH: 109-125.
- Vollenweider, R.A., 1974. A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments, Blackwell Scientific Publications, 171.
- Widdicombe, C. E., Eloire, D., Harbour, D., Harris, R. P., and Somerfield, P. J. 2010. "Long-term phytoplankton community Dynamics in the Western English Channel", Journal of Plankton Research, 32, 643-655.
- Wolf-gladrow, B.D.A., Riebesell, U., Burkhardt, S., Jelle, B. 1999. "Direct effects of CO₂ concentration on growth and isotopic composition of marine plankton", Tellus, 51B, 461-476.
- Wright, S.W., Jeffrey, S.W., 1987. "Fucoxanthin pigment markers of marine phytoplankton analysed by HPLC and HPTLC", Marine Ecology Progress Series 38, 259-266.
- Wu, Y., Gao, K., Riebesell, U. 2010. "CO₂-induced seawater acidification affects physiological performance of the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum*", Biogeosciences, 7, 2915-2923.
- Yayla, M., Yılmaz, A. and 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., Çoban-Yıldız, Y., Karakoç, F.T. and Bologa, A., 2006. "Surface and mid-water sources of organic carbon by photoautotrophic and chemoautotrophic production in the Black Sea", Deep-SeaResearch II, 53, 1988-2004.

- Yılmaz, A., Tugrul, S., Polat, C., Ediger, D., Çoban, Y. and Morkoc, E., 1998. "On the production, elemental composition (C, N, P) and distribution of photosynthetic organic matter in the Southern Black Sea", *Hydrobiologia*, 363, 141-156.
- Yoshimura, T., Nishioka, J., Suzuki, K., Hattori, H., Kiyosawa, H., and Watanabe, Y. W. 2010. "Impacts of elevated CO₂ on organic carbon dynamics in nutrient depleted Okhotsk Sea surface waters", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 395, 191-198.
- Yunev, O.A., Carstensen, J., Moncheva, S., Khaliulin, A., Ærtebjerg, G., Scott, N. 2007. "Nutrient and phytoplankton trends on the western Black Sea shelf in response to cultural eutrophication and climate changes", *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*, 74(1), 63-76.
- Yunev, O.A., Vedernikov, V.I., Basturk, O., Yilmaz, A., Kideys, A.E., Moncheva, S., Konovalov, S.K. 2002. "Long-term variations of surface chlorophyll a and primary production in the open Black Sea", *Marine Ecology Progress Series*, 230, 11-28.
- Zaitsev, Y.P., 1991. Land- Based Sources of Current Antropogenic Change in the Black Sea Ecosystem /ACOPS. Assessment of Land- Based Sources of Marine Pollution in the Seas Adjacent to the CIS., Book of Abstract, Sevastopol, April, 1, 38-41.
- Zaitsev, Yu.P. and Mamaev, V., 1997. Marine biological diversity in the Black Sea: A study of change and decline. United Nation Publications, New York. 208 pp.
- Zubkov, M.V., Sleight, M.A., Burkill, P.H. and Leakey, R.J.G., 2000. "Picoplankton community structure on the Atlantic Meridional Transect: a comparison between seasons", *Progress in Oceanography* 45, 36