



**MARMARA BÖLGESİ ATMOSFERİK MİKRO BESİN TUZU
FRAKSİYONLARININ, FİTOPLANKTON
KOMPOZİSYONUNA VE
BİRİNCİL ÜRETİME ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

ŞEHMUS BAŞDUVAR

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SU ÜRÜNLERİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
ARALIK-2023**

**MARMARA BÖLGESİ ATMOSFERİK MİKRO BESİN TUZU
FRAKSİYONLARININ, FİTOPLANKTON
KOMPOZİSYONUNA VE
BİRİNCİL ÜRETİME ETKİSİ**

DOKTORA TEZİ

ŞEHMUS BAŞDUVAR
ORCID ID: 0009-0004-5755-5952

MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ÜRÜNLERİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
PROF. DR. FAHRİ KARAYAKAR
ORCID ID: 0000-0002-8114-350X

İKİNCİ DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUSTAFA KOÇAK
ORCID ID: 0000-0002-5416-9632

MERSİN
ARALIK- 2023

ÖZET

MARMARA BÖLGESİ ATMOSFERİK MİKRO BESİN TUZU FRAKSİYONLARININ, FİTOPLANKTON KOMPOZİSYONUNA VE BİRİNCİL ÜRETİME ETKİSİ

Marmara Deniz’inde yakın zamanda gözlenen Müsilaj olayları dikkate alındığında bölge atmosfer verisi ile yüzey suyu arasındaki ilişkisinin birlikte incelendiği çalışmaların kısıtlı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada Marmara Bölgesi’nde deniz suyu ve atmosfer örnekleri alınarak mikro besin tuzu analizleri yapılmış, mikrokozum çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda Na^+ ve Mg^{2+} iyonlarının deniz tuzu, K iyonlarının bir kısmının toprak kökenli, SÇOA’nın önemli bir kısmının ikincil aerosoller kaynaklı olduğu, Mn ve Fe konsantrasyonlarının antropojenik kaynaklardan etkilendikleri görülmüştür. Atmosferik mikro besin tuzlarının sudaki çözünürlükleri karşılaştırıldığında en yüksek çözünürlüğün Zn’da olduğu belirlenmiştir. Bölge atmosferinin Redfield (N/P:16/1) oranına kıyasla hem kuru hem de toplam çökeltme için yaklaşık 2 kat daha yüksek N içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Atmosfer yoluyla yıllık bölgeye sağlanan tüm azot ve fosforun birincil üreticiler için kullanılabilir olduğu varsayılırsa Marmara denizinde fosfor ve azotun sırası ile 13.9 ve 24.6 mgC/m².d seviyelerinde yeni üretimi destekleyebileceği hesaplanmıştır. Mikro besin tuz girdileri ve azota karşı molar oranları dikkate alındığında atmosferik akıda Fe ve Zn azota kıyasla daha zengin, Mn, Co, Cu ve Cd mikro besin tuzları ise azota kıyasla daha az olduğu sonucuna varılmıştır.

Yürütülen mikrokozum deneylerinde İlkbahar döneminde Diatomların, yaz döneminde ise *Cryptophyceae*’nin baskın tür olduğu belirlenmiştir. İlkbahar dönemi örneklerinde Arabinoz ve Çözünür Organik Karbon konsantrasyonlarının belirgin artışlar sergilediği görülmüştür. Yaz dönemi örneklerinde besin tuzları ve ışığın yeterli olduğu koşullarda diatom türlerinin çok hızlı çoğalabildikleri ve bu döngülerini tamamlayana kadar diğer fitoplankton türlerinin baskın olmasına izin vermedikleri, bu süreç içerisinde ortamda Glikoz ve Galaktoz konsantrasyonlarının arttığı belirlenmiştir.

Çalışma sonuçları, fitoplankton ve bakteriofitoplanktonların mikro besin tuzlarını kullanımı, çoğalmaları ve monosakkaritlerdeki artışlar dikkate alındığında kısa zamanda büyük çapta biyokütle artışına başlıca katkı yapabilecek Fitoplankton türünün başlangıçta *Skeletonema costatum* ve daha sonra Siyanobakteriler olabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Yapılan çalışma sonuçları Marmara bölge atmosferi-deniz suyu arasındaki ilişkisinin belirlenebilmesi, kimyasal ve biyolojik parametrelerin zamansal olarak değişiminin incelenmesinde katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Fitoplankton, Diatom, Biyokütle, Besin Tuzu, Atmosfer.

Danışman: Prof. Dr. Fahri Karayakar, Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

THE IMPACT OF ATMOSPHERIC NUTRIENT FRACTIONS ON PHYTOPLANKTON COMPOSITION AND PRIMARY PRODUCTION IN THE MARMARA REGION

Considering the recently observed mucilage events in the Sea of Marmara, it is observed that studies examining the relationship between regional atmospheric data and surface water are limited.

In this study, sea water and atmospheric samples are taken in the Marmara Region, micro nutrient analyzes and microcosm studies are carried out. It is observed that Na⁺ and Mg²⁺ ions have their origin from sea salt, some of K ions originates from soil, a significant part of WSON (Water Soluble Organic Nitrogen), comes from secondary aerosols, and Mn and Fe concentrations are affected by anthropogenic sources. When the solubility of atmospheric micronutrients in seawater is compared, it is observed that the highest solubility is observed in Zn. The atmosphere of the region is measured to have approximately 2 times higher N content for both dry and total precipitation in comparison to the Redfield (N/P:16/1) ratio. When it is assumed that atmospheric total annual flux of nitrogen and phosphorus is fully available to the primary producers, the phosphorus and nitrogen in the Sea of Marmara can sustain new production at levels of 13.9 ve 24.6 mgC/m².d. Considering the micronutrient inputs and their molar ratios to nitrogen, it is found that Fe and Zn are richer in the atmospheric flux compared to nitrogen, and Mn, Co, Cu and Cd micronutrient salts are deficient compared to nitrogen.

In the microcosm experiments conducted, it is observed that Diatoms are the dominant species in the spring period and *Cryptophyceae* are the dominant species in the summer period. It is observed that Arabinose and Soluble Organic Carbon concentrations showed significant increases in the spring period samples. In summer period samples, it is concluded that diatom species could multiply very quickly under conditions where nutrients and light is abundant and does not allow other phytoplankton species to dominate until they complete their full life cycle, and during this process, Glucose and Galactose concentrations increases in the environment.

Considering the use of micronutrient by phytoplankton and bacteriophytoplankton, their production, and the increase in monosaccharides, this study findings suggest that the phytoplankton species that make the major contribution to the large scale biomass increase in a very short time, would be *Skeletonema costatum* at the beginning and *Cyanobacteria* at later times.

The results of the present study will contribute to determination of the relationship between the Marmara's regional atmosphere and sea water, and to the examination of the temporal changes of chemical and biological parameters.

Keywords: Phytoplankton, Diatom, Biomass, Nutrient, Atmosphere.

Advisor: Prof. Dr. Fahri Karayakar, Department of Fisheries, Mersin University, Mersin.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı yapmama olanak sağlayıp her şekilde destekleyen Mersin Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dekanı Prof. Dr. M. Tahir Alp, dekan yardımcısı ve aynı zamanda danışman hocam Prof. Dr. Fahri Karayakar'a,

Çalışmanın örnekleme aşamasından sonuna kadar enstitü olanaklarını ve DEKOSİM projesi kapsamında alınan analitik cihazlardan yararlanmama olanak sağladıkları için ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü müdürü Prof. Dr. Barış Salihoğlu ve Müdür Yardımcıları Prof. Dr. Mustafa Yücel ve Dr. Devrim Tezcan'a,

Tezin deneysel aşamalarında yardımlarını esirgemeyen ODTÜ- DBE Oşinografi Laboratuvarı personellerine, arazi çalışmalarını yaptığım RV.BİLİM 2 araştırma gemisi personellerine ve Enspektörü sayın Gökhan EŞİYOK ve sefer koordinatörü Dr. Hasan Örek'e

Tüm çalışmadaki fitoplankton tür tayinlerini yapan Prof. Dr. Zahit Uysal'a,

Yürütücüsü olduğu “Atmosferik Makro/Mikro Besin Tuzu Girdilerin Marmara Denizi'nde Gözlenen Müsilaj Olayları Üzerindeki Olası Etkileri” adlı ve 121G005 numaralı projesiyle çalışmanın gerçekleştirilmesinde yardımlarını esirgemeyen, aynı zamanda 2. Danışmanım Doç. Dr. Mustafa Koçak'a ve TÜBİTAK'a,

Çalışmanın tüm aşamalarındaki katkılarından dolayı jüri üyelerim Prof. Dr. Bedii Cıçık, Prof. Dr. Ferbal Özkan, Doç. Dr. Nebil Yücel ve Doç. Dr. Koray Özhan'a

İçten Teşekkürler,

Beni her zaman destekleyen aileme,

Tabiki eşim Ceren ve oğlum METE'ye,

İyi ki varsınız!

Bu tez çalışması, TÜBİTAK tarafından desteklenen ‘Atmosferik Makro/Mikro Besin Tuzu Girdilerin Marmara Denizi'nde Gözlenen Müsilaj Olayları Üzerindeki Olası Etkileri’ adlı ve 121G005 numaralı projesiyle gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Marmara Denizi.....	2
1.2 Sınırlayıcı Besin Tuzları.....	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI.....	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Örneklem Sahası.....	12
3.1.1. Atmosferik Örneklem Sahası.....	12
3.1.2 Denizel Örneklem Sahası	12
3.2. Örneklem	13
3.2.1 Atmosferik Örneklerin Toplanması.....	13
3.2.1.1 Atmosferik Toplam Çökel Örnekleri.....	13
3.2.1.2 İki Kademeli Aerosol Örnekleri	13
3.2.2. YüzeY Suların Örneklenmesi.....	13
3.3. Ön Hazırlık.....	14
3.4. Mikrokozmi: Besin Tuzlarının Eklmesi (Mikrokozmi)	14
3.5. Örneklerin Ölçümlere Hazırlanması.....	17
3.6. Ölçümler.....	18
3.7. Atmosferik Akıların ve Hava Kütlelerinin Hesaplanması.....	23
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
4.1 Atmosferik Parçacıklar	25
4.1.1 Marmara Üzerindeki Atmosferik Parçacıkların 1980-2022 Yılları Arası Değişimi.....	25
4.1.2 Suda-Çözünebilir İyonlar, Makro Besin Tuzları, Suda Çözünebilir Organik Azot (SÇOA)	26
4.1.3. Atmosferik Elementler, Suda-Çözünebilir Fosfor ve Mikro Besin Tuzları	28
4.1.4. Hava Kütlelerinin Üç-günlük Geri Yörüngeleri.....	30
4.1.5. Atmosferik Besin Tuzlarının Akıları.....	31
4.2 Mikrokozmi: Makro ve Mikro Besin Tuzlarının Beraber Eklmesi (Mikrokozmi)	33
4.2.1. Başlangıç Koşulları (Besin Tuzları Ekleme Öncesi Koşullar)	33
4.2.2. Mikrokozmi (Ekleme) Deneyi.....	40
4.2.2.1 İlkbahar Dönemi	41
4.2.2.2 Yaz Dönemi	49
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	72

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Metallerin Deniz Mikro-Organizmalarındaki Bazı Önemli İşlevleri. -----	5
Tablo 3.1. Mikrokozmden Deneylerinde Ölçülen Parametreler, Örnek Hacimleri Ve Örnek Sayıları. ----	15
Tablo 3.2. Mikrokozmden Deney Düzenegi, Şişe Kodları ve Eklenen Besin Tuzu Konsantrasyonları. ---	16
Tablo 3.3. Fitoplankton Pigment Belirteçleri. -----	18
Tablo 3.4. Hesaplamalarda Kullanılan Tepki Faktör (Rf) Değerleri:-----	19
Tablo 3.5. Mono-Sakkarit Ölçümünde Uygulanan Yöntem Özeti. -----	21
Tablo 4.1. Suda-Çözünebilir İyonlar Ve Organik Azot Arasındaki Etkileşim Katsayıları. -----	27
Tablo 4.2. Suda-Çözünebilir ve Organik Azot İyonları İçin İstatistiksel Özet. -----	27
Tablo 4.3. Elementler Arasındaki Etkileşim Katsayıları.-----	29
Tablo 4.4. Elementler ve Fosfor İçin İstatistiksel Özet. -----	29
Tablo 4.5. Suda Çözünebilir Mikro Besin Tuzları Ve Fosfor İçin İstatistiksel Özet. -----	30
Tablo 4.6. Makro Besin Tuzlarının Atmosferik Akıları. -----	32
Tablo 4.7. Mikro Besin Tuzlarının Atmosferik Akıları. -----	32
Tablo 4.8. Molar N(Azot) /Mikro Besin Tuzu Oranları. -----	32
Tablo 4.9. İlkbahar Mevsimi İçin Deney Şişelerinde Ölçülen NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4^- İçin İstatistiksel Özet. -----	34
Tablo 4.10. Yaz Mevsimi İçin Deney Şişelerinde Ölçülen NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4^- İçin İstatistiksel Özet. -----	34
Tablo 4.11. Deney Şişelerinde Ölçülen NH_4^+ İçin İstatistiksel Özet.-----	36
Tablo 4.12. İlkbahar (8 Metre) 2022 Dönemi Deney Şişelerinde T0 Zamanında Ölçülen Klorofil- <i>a</i> , Fukoksantin ve C2 İçin İstatistiksel Özet. -----	38
Tablo 4.13. Yaz (20 Metre) 2022 Dönemi Deney Şişelerinde T0 Zamanında Ölçülen Klorofil- <i>a</i> , Fukoksantin ve C2 İçin İstatistiksel Özet. -----	39
Tablo 4.14. İlkbahar Ve Yaz Dönemi Deneylerinde Gözlenen Hücre Sayıları. -----	40
Tablo 4.15. İlkbahar 2022 Dönemi Mikrokozmden Deneyi T0 Zamanı Fitoplankton Türleri. -----	45
Tablo 4.16. İlkbahar Dönemi Deneylerinde Mikro Besin Tuzları Arasındaki Etkileşim Katsayıları. K: Katyonik ve A: Anyonik-----	48
Tablo 4.17. Yaz 2022 Dönemi Mikrokozmden Deneyi T0 Zamanı Fitoplankton Türleri. -----	53
Tablo 4.18. Yaz Dönemi Deneylerinde Mikro Besin Tuzları Arasındaki Etkileşim Katsayıları. K: Katyonik ve A: Anyonik-----	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yer Sistemi Bilimlerinde Aerosollerin Önemi ve Oynadığı Roller.	1
Şekil 1.2. Marmara Deniz'i (45c İstasyonu) 1997-2019 Arası Çözünmüş Oksijen Değerleri (Mg/L). ..	4
Şekil 1.3. Popülasyon Büyüme Eğrisi.	6
Resim.1.1. Fitoplankton Türlerin Stratejileri	6
Şekil 1.4. Marmara Denizi Yüzey Sularında Tespit Edilen Mevsimsel $\text{NO}^{-(2+3)}$, PO_4^{-3} Konsantrasyonları ve Karşılık Gelen Molar N/P	7
Şekil 2.1. Marmara, Karadeniz ve Doğu Akdeniz'e Atmosferik Azot Girdileri.....	10
Şekil 3.1. Örnekleme İstasyonlarının Coğrafik Konumları.....	12
Şekil 3.2. Mikro Besin Tuzlarının Katyonik ve Anyonik Türleştirilmesi.	17
Şekil 3.3. Pigment Analizleri Standart Kromatogramı.....	19
Şekil 3.4. Monosakkarit Standart Kromatogramı.....	20
Şekil 3.5. Monosakkarit Standart Eğri ve Denklemleri.....	21
Şekil 3.6. Anyon Standart Eğri ve Denklemleri.....	22
Şekil 3.7. Katyon Standart Eğri ve Denklemleri.....	22
Şekil 3.8. Anyon Standart Kromatogramı.....	23
Şekil 3.9. Katyon Standart Kromatogramı.....	23
Şekil 4.1. Marmara Atmosferinde Gözlenen Parçacıklar İçin Konsantrasyonlar. (A)Toplam, (B) Sülfat, (C) Mineral Toz, (D) Siyah Karbon ve (E) Deniz Tuzu.....	25
Şekil 4.2. NH_4^+ , NO_3^- Ve SÇOA'nın nmol/M ³ Birimi Cinsinden Suda Çözünebilir Toplam Azota Katkıları.....	28
Şekil 4.3. Mikro Besin Tuzlarının ve Fosforun Yüzde Çözünürlüğü.....	30
Şekil 4.4. Hava Kütlelerinin Sınıflandırılması.....	31
(A) Kuzey ve (B) Kuzeydoğu Hava Akıları.....	31
Şekil 4.5. Deney Şişelerinde Gözlenen Makro Besin Tuzlarının İlkbahar Mevsimi (8 Metre) İçin İstatistiksel Özet ve Kıyaslamalar	35
Şekil 4.6. Deney Şişelerinde Gözlenen Makro Besin Tuzlarının Yaz Mevsimi (20 Metre) İçin İstatistiksel Özet ve Kıyaslamalar	35
Şekil 4.6. Devam. Deney Şişelerinde Gözlenen Makro Besin Tuzlarının Yaz Mevsimi (20 Metre) İçin İstatistiksel Özet ve Kıyaslamalar	36
Şekil 4.7. Deney Şişelerinde Gözlenen	37
Şekil 4.8. İlkbahar ve Yaz Dönemi Deney Şişelerinde Gözlenen Pigment Kompozisyonu.....	38
Şekil 4.9. İlkbahar ve Yaz Dönemi Deney Şişelerinde Gözlenen Fitoplankton Kompozisyonu.....	40
Şekil 4.10. Bağlı Klorofil-a ve Pigment Ölçümlerinin Birbirleri Arasındaki İlişki.....	41
Şekil 4.11. İlkbahar Dönemi Deney Şişelerinde Zamana Bağlı Değişim. (A) NO_3^- , (B) PO_4^{3-} , (C) Si(OH)_4^- ve (D) NH_4^+	42
Şekil 4.11.(Devamı). İlkbahar Dönemi Deney Şişelerinde Zamana Bağlı Değişim. (A) NO_3^- , (B) PO_4^{3-} , (C) Si(OH)_4^- ve (D) NH_4^+	43
Şekil 4.12. İlkbahar Dönemi Deney Şişelerinde Zamana Bağlı Klorofil-a (A) ve Hücre Sayıları (B) Değişimi.....	43
Şekil 4.13. İlkbahar Dönemi Deney Şişelerinde Zamana Bağlı Siyanobakteri (A) ve Proklorofit (B) Sayılarının Değişimi.....	43
Şekil 4.14. İlkbahar Döneminde Klorofil-a'nın Fukoksantin ve C2 Pigmentleriyle Etkileşimi.....	44
Şekil 4.15. İlkbahar Dönemi Deneylerinde Fitoplankton Kompozisyonu	46
Şekil 4.16. İlkbahar Dönemi Deney Şişelerinde 12. Gün Belirlenen Arabinoz Konsantrasyonları.....	47
Şekil 4.17. İlkbahar Dönemi Deney Şişelerinde Ölçülen Çözünür Organik Karbon Konsantrasyonları.....	47
Şekil 4.18. İlkbahar Dönemi Kontrol Örneklerinde Mikro Besin Tuzlarının (Katyonik ve Anyonik Formlar) Konsantrasyonlarının Zamansal Değişimi	48
Şekil 4.19. Yaz Dönemi Deney Şişelerinde Zamana Bağlı Değişim	50
Şekil 4.20. Yaz Dönemi Deney Şişelerinde Zamana Bağlı Klorofil-a (A).....	50
ve Hücre Sayıları (B) Değişimi.....	50
Şekil 4.21. Yaz Dönemi Deney Şişelerinde Zamana Bağlı Siyanobakteri (A), Proklorofit (B) ve Pikofitoplankton (C) Sayılarının Değişimi.....	51

Şekil 4.22. Yaz Dönemi Deneyleri İçin Fitoplankton Katkıları	52
Şekil 4.23. Yaz Dönemi Deney Şişelerinde 6. Gün Belirlenen Glukoz ve Galaktoz Konsantrasyonları (μm).....	54
Şekil 4.24. Yaz Dönemi Deney Şişelerinde Ölçülen Çözünür Organik Karbon Konsantrasyonları.....	54
Şekil 4.25. Yaz Dönemi Kontrol Örneklerinde Mikro Besin Tuzlarının	56
(Katyonik ve Anyonik Formlar) Konsantrasyonlarının Zamansal Değişimi	56
Şekil 4.26. Fitoplanktonlar ve Bakterioplanktonlar ile Klorofil-a Arasındaki Etkileşimler.....	57

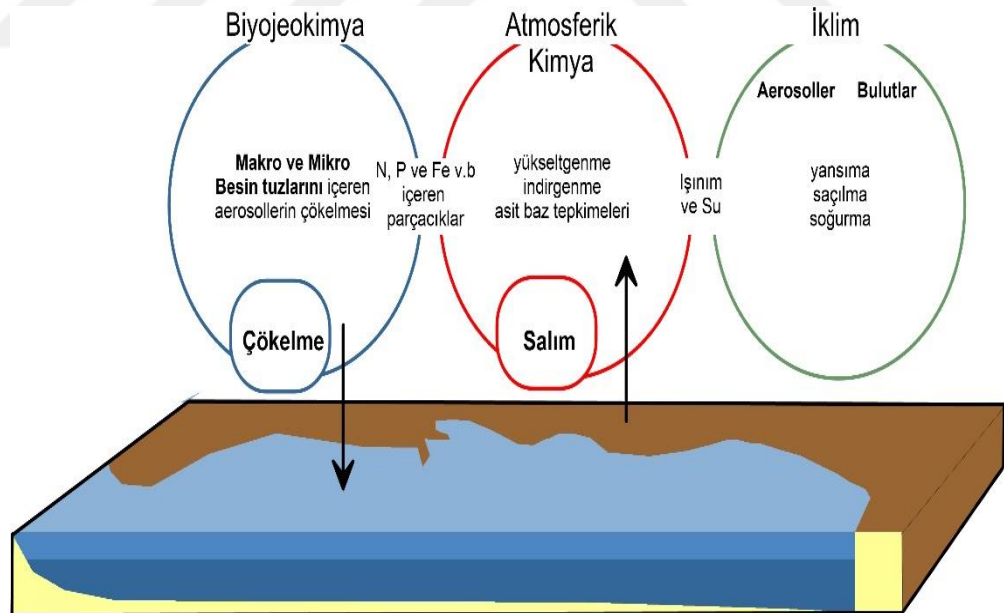


SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simgesi	Tanım
km ²	: Kilometre Kare.
mg/L	: Miligram Litre.
µM	: Mikro Molar.
nM	: Nano Molar.
m/s	: Saniyedeki Metre biriminden Uzunluk.
ng	: Nano Gram.
kg/km ² .y	: Yıllık Kilometrekaredeki Kilogram Miktarı.
l/dk	: Dakikadaki Litre biriminden Hacim.
°C	: Santigrat Derece.
µl/dk	: Dakikadaki Mikrolitre biriminden Hacim.
µmol/m ² .y	: Yıllık Metrekaredeki Mikromol Miktarı.
mg C/m ² .y	: Yıllık Metrekaredeki Miligram Karbon Miktarı.
nmol/m ³	: Metreküpteki Nanomol Miktarı.
ng/m ³	: Metreküpteki Nanogram Miktarı.
YBDK	: Yüksek Besin Düşük Klorofil.
DBDK	: Düşük Besin Düşük Klorofil.
Co	: Kobalt.
Fe	: Demir.
Ni	: Nikel.
Mn	: Mangan.
Zn	: Çinko.
Cd	: Kadmiyum.
C	: Karbon.
N	: Azot.
P	: Fosfor.
ODTÜ-DBE	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü.
İTÜ-MTAL	: İstanbul Teknik Üniversitesi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi.
TOC/TN	: Toplam Organik Karbon/Toplam Azot.
HPLC	: Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografisi.
RF	: Tepki Faktörü.
SM	: Standart Metot.
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometre.
SÇOA	: Suda Çözünebilir Organik Azot.
AO	: Aritmetik Ortalama.
SS	: Standart Sapma.
SYN	: Siyanobakteri.
PRO	: Proklorofit.
PİKO	: Pikofitoplankton.

1. GİRİŞ

Yer sistemi bilimlerinde aerosoller çok önemli bir bileşen olup (Şekil 1.1) hidrolojik döngülerde, iklim değişikliği ve toplum sağlığı ile ilgili konularda dâhil, küresel jeofiziksel, jeokimyasal ve biyojeokimyasal süreçlerde önemli rol oynarlar. Atmosferde gerçekleşen, uzun mesafeli taşınma, yükseltgenme/indirgenme ve asit/baz tepkimeleriyle (alkali deniz tuzu, mineral toz, organik asitler, mineral asitler) aerosollerin kimyasal, mikro/makro besin tuzu kompozisyonu, optik ve mikro-fiziksel özellikleri değişebilmektedir (Arimoto, 2001; Satheesh ve Moorthy, 2005). Atmosferik parçacıklar güneş ve yeryüzü radyasyonunu hem saçarak hem de soğurarak iklimi doğrudan pozitif ve negatif yönde etkileyebilirler. Ayrıca buz çekirdekleri veya bulut yoğunlaşma çekirdekleri görevi yaparak, bulut damlacıklarının konsantrasyon ve boyut dağılımını etkileyebilir, su döngüsünde önemli rol alabilirler (Levin vd., 2005; Huang vd., 2006; Chen vd., 2007). Atmosferik çökeltme amonyum, nitrat, fosfat ve demir gibi makro ve mikro besin tuzları sağlayarak denizel üretime pozitif etki yaparken, bakır ve kurşun gibi besin tuzları denizel üretime negatif etkide bulunabilir.



Şekil 1.1. Yer sistemi bilimlerinde aerosollerin önemi ve oynadığı roller.

Dünya yüzölçümünün yaklaşık %71'ini kaplayan okyanuslar, insan kaynaklı CO₂ emisyonlarının üçte-birini tutarken fotosentez yoluyla atmosferde bulunan oksijenin yarısından fazlasını üretmektedir (Sabine ve Feely, 2007). Biyosfer sistemi içerisinde denizler, özellikle su ve besin tuzu döngülerini etkileyerek iklim değişikliği üzerinde önemli rol oynamaktadır

(Costanza, 1999; Martinez-Garcia vd., 2011). Organik üretimin büyük bir bölümünden sorumlu olan denizel ortamdaki fitoplanktonlar besin zinciri yoluyla pelajik ekosistem içerisinde enerjinin aktarılmasında büyük pay sahibidirler (Tait ve Dipper, 2001). Yüksek fotosentez yapabilme kapasiteleri sayesinde yeryüzündeki birincil üretimin yarısını oluşturan fitoplanktonlar (Falkowski vd., 2007, Boyce vd., 2010) denizel ortamdaki üretimin neredeyse tamamından sorumludur (Mackas, 2011). Biyokütle tahminlerinde kullanılan klorofil-*a*, denizel sistemlerde fitoplanktonun bölgesel dağılımı, taksonomik kompozisyonu ve fizyolojisinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Klorofil-*a* fotosentezdeki temel pigment olup, diğer pigmentler yardımcı veya marker (belirteç) pigment olarak isimlendirilmektedir. Her pigment farklı dalga boyundaki ışığa duyarlıdır. Dolayısıyla pigmentler farklı dalga boyundaki ışığın ulaştığı derinliklerde fotosentezi olanaklı hale getirmektedir (Yücel, 2017).

Denizler genellikle iki ana başlıkta sınıflandırılmaktadır: a) Yüksek Besin Düşük Klorofil (YBDK) ve b) Düşük Besin Düşük Klorofil (DBDK). YBDK (örneğin Ekvatorial Pasifik, sub-Arktik Pasifik ve Güney Denizi) denizlerindeki düşük birincil üretim mikro besin tuzu Demir (Fe) tarafından sınırlandırabileceği Martin ve diğerleri (1994) tarafından ileri sürülmüştür. Bu amaçla Ekvatorial Pasifik, sub-Arktik Pasifik ve Güney Denizi'ne Fe eklenerek deneyler gerçekleştirilmiştir (Boyd vd., 2007). Deney sonuçları biyokütlenin artabileceğini göstermiştir. Demir enzimatik süreçlerde (fotosentez, solunum ve azot fiksasyonu gibi) organizmalar tarafından kullanılır ve denizel ortamlarda düşük çözünürlük gösterir. Yapılan çalışmalarla özellikle açık YBDK yüzey sularına atmosferce sağlanan Fe'in çok önemli olabileceği ortaya konulmuştur (Jickells vd., 2005). Diğer yandan, DBDK denizlerine Sargasso ve Akdeniz tipik örnekler olarak verilebilir. CYCLOPS projesi kapsamında Doğu Akdeniz'de ekleme deneyleri yapılmıştır. Akdeniz'de gözlenen üretim düşüklüğünün öncelikle fosforca sınırlandırıldığı ileri sürülmüştür (Krom vd., 1991). Özellikle tabakalaşmanın görüldüğü yaz ve sonbahar döneminde atmosferden denizel ortama giren fosforun yeni üretimi yaklaşık %80'lere kadar destekleyebileceği belirtilmiştir (Markaki vd., 2003; Koçak, 2015). Herut ve diğerlerinin (2005) yaptıkları çalışma ile Doğu Akdeniz yüzey sularına Sahra kaynaklı toz eklerken klorofil ve birincil üretimin 5 kata kadar artabileceğini ortaya koymuşlardır. Paytan ve diğerleri (2009) ise çözünür bakırın bazı fitoplankton türlerini baskılayarak fitoplankton kompozisyonunu değiştirebileceğini göstermişlerdir.

1.1. Marmara Denizi

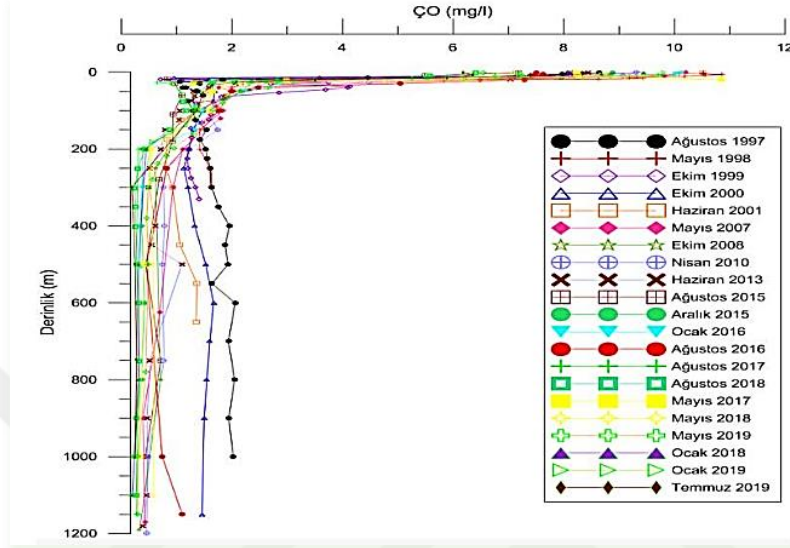
Marmara Denizi küçük bir baseni kaplarken (yüzölçümü: 11,500 km²) Avrupa ve Asya kıtaları arasında yer almaktadır. Akdeniz ve Karadeniz'i Çanakkale ve İstanbul Boğazlarıyla birbirlerine bağlarken Marmara Denizi ve boğazlar 'Türk Boğazlar Sistemi' olarak adlandırılmaktadır. Güneyi kaplayan kıta sahanlığı sığ (~100 m) ve genişken (~30 km) kuzeyi

kaplayan kıta sahanlığı oldukça dardır (<10 km). Marmara bölgesinin rüzgâr iklimi kara topoğrafyası tarafından etkilenmektedir. Türk Boğazlar Sistemi'ni çevreleyen düşük rakımlı topoğrafya kuzeyden gelen soğuk havaların ve Ege Denizi'nden gelen siklonların Karadeniz'e geçiş yoludur. Rüzgâr iklimine, kuzeydoğu yönlü rüzgârlar hakimken (%60) güney batılı rüzgârlar %20'sini teşkil etmektedir. Günlük ortalama rüzgâr hızı 4 m s^{-1} olduğu, kışın 25 m/s 'ye kadar ulaştığı ve yaz aylarında ise orta şiddette hıza sahip olduğu belirlenmiştir (Beşiktepe vd., 1994).

Yaklaşık 210 km uzunluğunda ve 75 km genişliğinde bir iç deniz olan Marmara Denizi 927 km kıyı şeridinde sahiptir (Yalçın vd., 2017). Tuzluluğu ve yoğunluğu düşük (%17-18 tuzluluk) Karadeniz suları İstanbul Boğazı'ndan girip Marmara'nın yüzey sularını oluştururken, tuzluluğu ve yoğunluğu yüksek Akdeniz suları (%38-39 tuzluluk) Çanakkale Boğazı'ndan girip, Marmara'nın alt sularını oluşturmaktadır (Beşiktepe vd., 1994; Polat ve Tuğrul, 1995, Yılmaz, 2002, Yalçın vd., 2017). Marmara Denizi yüzey sularının saat yönünde bir dolaşım gösterdiği ve yenilenme zamanının birkaç ay olduğu vurgulanırken alt tabakanın yenilenme zamanının 6-7 yıl olduğu belirtilmiştir (Beşiktepe vd., 1995). Birincil üretim, ışıklı tabakayla haloklinin çakışmasından dolayı üst yüzey suları (15-20 m) ile sınırlandırılmıştır (Polat vd., 1998; Yılmaz, 2002). Makro besin tuzlarınca zengin Karadeniz yüzey suları ve özellikle tarımsal aktiviteler, endüstriyel/evsel atıklar, atık su gibi insan kaynaklı girdiler nedeniyle (Polat ve Tuğrul, 1995, Polat vd., 1998; Balci ve Balkis, 2017) Marmara'nın (özellikle kuzey Marmara) üst suları kimyasal girdilerin yoğun etkisine açıktır. Alt sular ise yüzeyden çöken partikül maddenin etkisindedir. Çöken partikül maddeler hem oksijen hem de makro besin tuzlarının dikey dağılımında önemli rol oynamaktadır (Polat ve Tuğrul, 1995, Polat vd., 1998, Yılmaz, 2002). Makro besin tuzu profilleri bölgesel ve mevsimsel değişiklikler sergiler. Genel olarak en düşük değerler Çanakkale Boğazı girişinde gözlenirken en yüksek değerler İstanbul Boğazı dolaylarında ve haloklinin hemen altında gözlenmektedir (solunum yolu ile ortamdaki oksijen tüketilirken partikül organik maddenin parçalanması ile ortamda makro besin tuzları açığa çıkmaktadır) (Polat vd., 1998).

İki tabakalı bir sisteme sahip Marmara Denizi'nin üst yüzey sularını (15-20 m) İstanbul Boğazı yoluyla Karadeniz'den giren az tuzlu (23 ± 2 ppt) suları oluştururken, dip suları (~ 38 ppt) Çanakkale Boğazı'ndan giren yüksek tuzluluğa sahip Akdeniz suları oluşturmaktadır (Beşiktepe vd., 1994; Polat ve Tuğrul, 1995, Yılmaz, 2002, Yalçın vd., 2017). Marmara Denizi yüzey suları özellikle Marmara Bölgesinde bulunan megakent İstanbul, Endüstriyel Bölgeler ve Karadeniz'den kaynaklanan kimyasal akıların aşırı etkisinde kalırken alt tabaka yukarıdan çökelen partikül organik maddenin etkisi altındadır (Tuğrul vd., 2000). Bir zamanlar temiz kıyı şeritleriyle anılan Marmara Denizi son 40 yılda artan kirlilik nedeniyle alt tabakada çözünmüş oksijen miktarındaki azalma ciddi seviyelere ulaşmıştır (Yalçın vd., 2017). Bu aşırı kirlenme nedeni, insan kaynaklı kirleticiler ile görece yüksek konsantrasyonlarda kirlenmiş Karadeniz üst

sularına bağlıdır (Yalçın vd., 2017). Tuğrul ve diğerleri (2000) haloklinin hemen altındaki sulara çözünmüş oksijen miktarlarında ani çöküşler tespit etmişlerdir. Genellikle Çözünmüş Oksijen değerleri Marmara Denizi'nde güneyden kuzeye doğru azalırken yüzey sularında 6 ile 11 mg/L aralığında, 100 m ve altında ise 2 mg/L'den daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 1.2) (DBKİP, 2021).



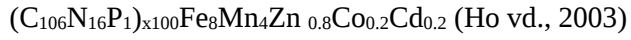
Şekil 1.2. Marmara Deniz'i (45C istasyonu) 1997-2019 arası Çözünmüş Oksijen Değerleri (mg/L) (DBKİP, 2021).

Marmara Denizi'nde ötrofikasyon, hidrokimyasal özellikler, denizel üretim, deniz kirliliği, sediman ve balıkçılık ile ilgili birçok çalışma olmasına rağmen atmosferik girdiler ve bu girdilerin yüzey sularına etkilerini belirten çalışmaların kısıtlı sayıda olduğu göze çarpmaktadır.

1.2. Sınırlayıcı Besin Tuzları

Organizmalar yapısal olarak Karbon (C), Oksijen (O), Fosfor (P), Azot (N), Silisyum (S) vb. temel elementten oluşmaktadır. Bunun yanında, gelişmeleri için bazı metallere (Demir (Fe), Mangan (Mn), Nikel (Ni), Kobalt (Co), Bakır (Cu), Çinko (Zn) ve Kadmiyum (Cd)) ihtiyaç duymaktadır. Tablo 1'de metallerin deniz mikro-organizmalarındaki bazı önemli işlevlerini göstermektedir. Verilen tabloda metallerin özellikle azot ve fosfor gibi temel besin tuzlarının döngülerini etkilediği dikkat çekmektedir. Fosfor enerji kaynağı (Adenosin Trifosfat (ATP)), bilginin saklanması (Deoksiribonükleik Asit (DNA)/ Ribonükleik Asit (RNA)) ve yapısal destek (fosfolipidler) için gerekliyken (Blake vd., 2005), azot özellikle amino-asitlerin temel yapı taşı ve klorofilin ana yapısı için gereklidir. Metaller ise moleküler düzeyde kimyasal mekanizmalarda aktif-merkez veya yapısal etmen olarak kullanılmaktadır (Morel vd., 2003).

Deniz fitoplanktonlarında organik maddenin sentezlenmesi sırasında Fe, Mn, Ni, Co, Cu, Zn ve Cd metallerinin kimyasal olarak nasıl orantılı alındığını ortaya koymuştur.



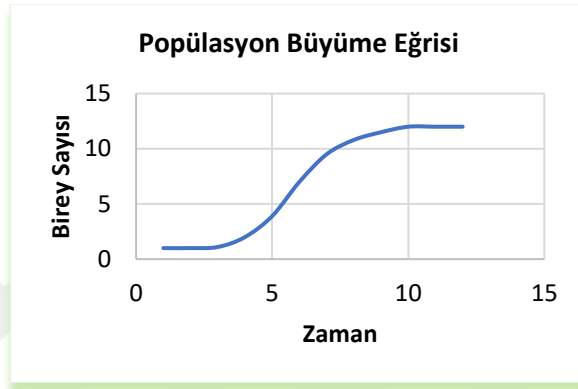
Liebig'in minimumlar yasasına (Justus von Liebig, 1840) göre bitkinin gelişimi için ihtiyacı olan tüm faktörlerden minimum durumdaki gelişim faktörü sınırlayıcıdır. Sınırlayıcı besin elementi, ortamda yeterli konsantrasyonlarda bulunmadığında fitoplankton kütle artışını engelleyen maddelerdir. Dolayısıyla fitoplankton biyokütle artışı besin maddelerinden bir tanesinin derişimi ya da gelişim için gerekli diğer şartlar sınırlayıcı olana kadar devam eder. Sucul ortamlarda canlının gelişimi için ışık, sıcaklık, basınç, yoğunluk, besin miktarı vb. koşulların optimum şartlarda olması gerekir. Canlı yapısında kullanılan besin tuzlarından azot, fosfor, karbon ve silisyum sınırlayıcı elementler olmakla birlikte karbonun kolay elde edilebilmesi, silisyumun ise fitoplankton yapısında çok az kullanılmasından dolayı ötrofik ortamlarda sınırlayıcı element olarak görülmeyebilir (Karpuzcu ve Koçali, 2007). Örneğin Redfield oranına göre (N/P:16/1) 16 birim azot için 1 birim fosfor gereklidir. Ortamda 1 birimden az fosfor varsa gelişim için ortam fosfor sınırlı sayılır.

Tablo 1. Metallerin deniz mikro-organizmalarındaki bazı önemli işlevleri.

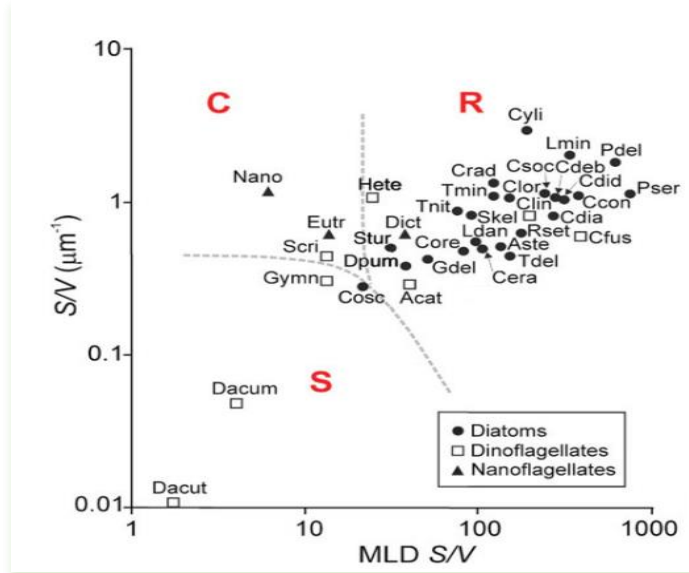
METAL	İŞLEV
Fe	FeS merkezleri (aconitaz, ferrodoksin), Sitokrom, Superoksit dismutaz Nitrat redüktaz (özümseme ve solunum) Nitrit redüktaz (özümseme ve solunum)
Mn	Fotosentez'in oksijen ile ilgili kompleksleri
Co	Karbonik anhidraz
Ni	Üreaz
Cu	Plastosiyanın Ferroz oksidaz Amine oksidaz
Zn	Karbonik anhidraz
Cd	Karbonik anhidraz Alkalın fosfataz

Besin tuzlarınca kontrol edilen denizel birincil üretimde, fitoplanktonların çoğalma oranları, bir ya da daha fazla besin tuzu ile sınırlandırılır (Eppley and Thomas, 1969; Droop, 1973; Smayda, 1997). Özellikle azot ve fosfor fitoplanktonları etkileyerek plankton-alg

patlamalarına sebep olabilir (Harrison, 1976; Paerl, 1988, 1997). Fitoplankton popülasyonu çoğalma için gerekli tüm şartlar uygun olduğu sürece artmaya devam eder. Gerekliliklerden bir tanesinin azalması ya da ortamda tamamen bitmesi çoğalmayı yavaşlatır ve durdurur (Şekil 1.3). Fitoplankton topluluklarının bolluğu çevresel koşullara, özellikle iklime ve ışığa göre büyük ölçüde değişkenlik gösterir. Uzun ve büyük yapılı (yüzey alanı/hacim oranı büyük) R stratejist fitoplanktonlar ışık ve besini fazla kullanarak hızlı hızlı bir büyüme sergilerken, geniş fakat yüzey alanı/hacim oranı düşük S stratejist fitoplanktonlar yavaş çoğalır (Resim.1.1) (De souza vd., 2008).



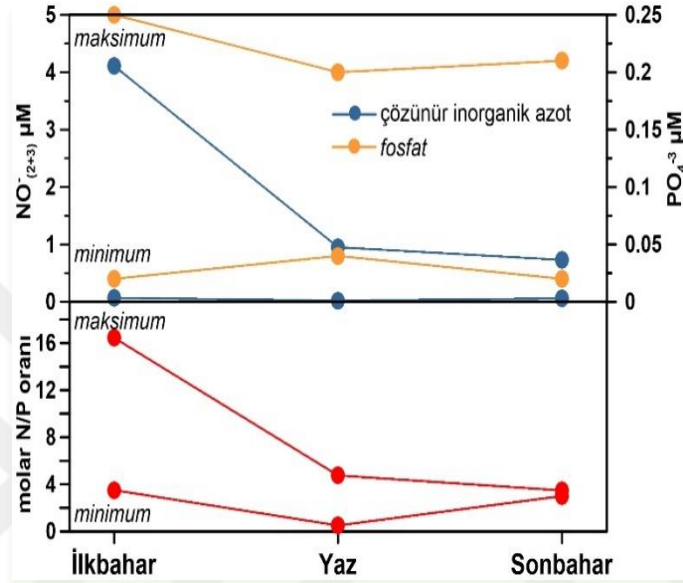
Şekil 1.3. Popülasyon büyüme eğrisi.



Resim.1.1. Fitoplankton türlerin stratejileri (De souza vd., 2008)

Marmara Denizi yüzey sularında tespit edilen Nitrat+Nitrit ($\text{NO}^{-(2+3)}$), Fosfat (PO_4^{-3}) değerleri ve karşılık gelen molar N/P oranları mevsimlere göre değişim göstermektedir (Şekil

1.4). Şekilden de görüleceği üzere konsantrasyonlar ve oranlar büyük değişkenlik gösterirken en yüksek değerler ilkbaharda gözlenmiştir. Çözünür inorganik azot ve fosfat sırasıyla $4.1 \mu\text{M}$ ve $0.25 \mu\text{M}$ 'a kadar ulaşmaktadır. Minimum değerler ve molar N/P oranları (bir değer hariç 16 olan N/P Redfield oranından büyük) dikkate alındığında Marmara Denizi'ndeki birincil üretimin tüm mevsimlerde azotça sınırlandırılabilirliği ve atmosferik azot (hem organik hem de inorganik) girdilerinin Marmara Denizi için önemli olabileceği ileri sürülebilir.



Şekil 1.4. Marmara Denizi yüzey sularında tespit edilen mevsimsel $\text{NO}_3^{-(2+3)}$, PO_4^{3-} konsantrasyonları ve karşılık gelen molar N/P (Çoban-Yıldız vd. 2000).

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Uzun yıllar boyunca dünya okyanuslarına taşınan metal ve besin tuzlarının tek kayda değer karasal kaynağının nehir girdisi olduğu düşünülmüştür. Ancak atmosferin de gerek kıyı gerekse açık deniz ortamlarına madde taşınımı bakımından önemli bir kaynak teşkil ettiği son yıllarda gittikçe daha çok kabul görmeye başlamıştır (Herut vd., 2001). Denizel ortama atmosfer yoluyla sağlanan besin tuzları ile ilgili çalışmalar 1800'lü yılların ortalarına kadar uzanmaktadır. O dönemde, bitkiler için azotun hayatı bir besin maddesi olduğu kabul edildiğinden, atmosferik azot çökeltme çalışmaları önem kazanmıştır. Bu çalışmalar, özellikle yağmur suyunda amonyum ve nitrat gibi inorganik azotlara odaklanmıştır. Miller (1905) yağmur örneklerinde bulunan organik azottan da bahsetmiştir.

Akarsu girdileri noktasal kaynaklar olduklarından dolayı etkileri özellikle kıyı suları ile sınırlı kalır ve esas olarak partikül fazında önemli miktarda elementin taşınmasında rol oynarlar. Ancak taşınan partikül maddenin büyük bir kısmı kıyı ve nehir ağzı sistemlerinde biyojeokimyasal değişimlere maruz kalır ve sistemden uzaklaştırılır (Guieu vd. 1993). Küresel ölçekte nehir kökenli partiküllerin yaklaşık %90'ının kalıcı olarak kıyı bölgelerinde dip tortusu olarak biriktiği ve dolayısıyla açık deniz ekosistemleri üzerinde bir etkisi bulunmadığı düşünülmektedir (Jickells, 2005). Buna karşılık, atmosferik çökeltme daha geniş bir yayılımı sahipken doğrudan okyanus yüzeylerini ve daha büyük alanları etkileyebilmektedir. Duce ve diğerleri (1991) yeryüzündeki okyanuslara atmosfer yoluyla taşınan besin tuzları üzerine benzer çalışmalar yürütürken, ön kabullerin aksine, atmosfer kaynaklı besin tuzlarının önemli olacağını ortaya koymuş ve bu konudaki bilgiler günümüze kadar giderek artmıştır.

Dünyada ve ülkemizde aerosollerin ve atmosferik çökellerin besin tuzu içerikleri, boy dağılımı, zamana bağlı değişimleri, taşınmaları ve kaynağı ile ilgili bilimsel çalışmalar mevcuttur (Prospero, 1981 ; Arimoto vd., 1989 ; Kubilay ve Saydam, 1995 ; Güllü vd., 1998 ; Al-Momani vd., 1998 ; Özsoy ve Saydam, 2001 ; Mace vd., 2003 ; Kuloğlu ve Tuncel., 2005 ; Kindap vd., 2006 ; Türküm vd., 2008 ; Doğan vd., 2008 ; Yatkın ve Bayram, 2008 ; Karaca vd., 2009 ; Tecer vd., 2012). Atmosferik aerosoller; mineral tozları, is, organik moleküller, deniz tuzu, kristaller, sporlar, bakteriler ve diğer mikroskobik parçacıklar da dahil olmak üzere pek çok doğal ve antropojenik bileşenlerden oluşmaktadır (Duce, 2005). Denizlerde gerçekleşen biyolojik süreçler ve kimyasal döngüler üzerinde atmosferik iz element girdisi çeşitli etkilere sahiptir. Atmosferik yollarla, açık denize taşınan besin tuzu ve metaller denizsel üretimi artırır (Tortell vd., 1999; Mahowald vd., 2005, 2008; Jickells vd., 2005;). Diğer yandan, atmosferik çökellerin (yaş ve kuru çökellerin) denizel çevrelerde olumlu ya da olumsuz etkileri olabilir.

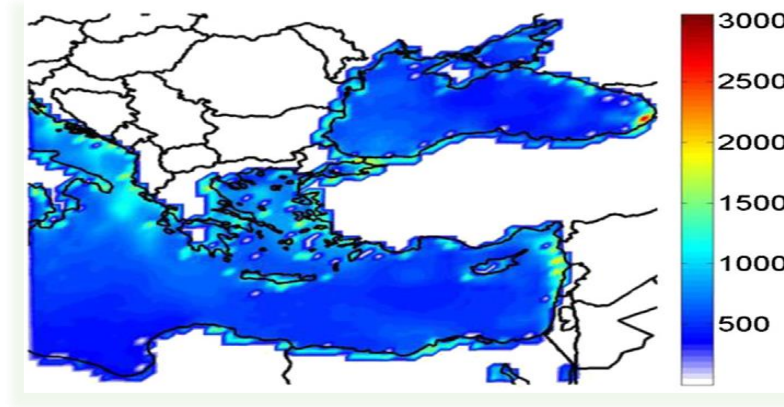
Denizel bölgelere atmosferik besin tuzu ve metal girdilerinin önemli hatta bazı koşullarda benzerleri arasında önem bakımından dominant olduğu son yirmi yıllık çalışmalarla ortaya konmuştur (Herut vd., 1999; Kubilay vd., 2000; Markaki vd., 2003; Koçak vd., 2010).

Atmosferik girdilerin temel besin tuzu ve metal döngülerini etkileyerek ortamdaki fitoplankton kompozisyonunu ve birincil üretim gibi biyotik süreçleri değiştirebileceği vurgulanmıştır.

Yeryüzünü kaplayan denizlerin yaklaşık %25'i Yüksek-Besin-Düşük-Klorofil (YBDK, high-nutrient-low-chlorophyll) olarak tanımlanırken (Boyd vd., 2007) %60'ı Düşük-Besin-Düşük-Klorofil (DBDK, low-nutrient-low-chlorophyll) olarak tarif edilmektedir (Guieu vd., 2010). Hem makro hem de mikro besin maddelerine (azot, fosfor ve demir gibi) kaynaklık ettikleri için, dünya okyanuslarının Düşük Besin Düşük Klorofil (DBDK) ve Yüksek Besin Düşük Klorofil (YBDK) bölgelerinde önemli roller oynayabilirler (Paytan vd. 2009). Mikrokozmm deneyleri özgün kontrollü koşullar altında doğal fitoplankton topluluklarının tepkilerini tahmin etmek için kullanılan basitleştirilmiş yapay ekosistemlerdir (Rothenberger vd., 2016). Dünya denizleri ve okyanusları üzerine pek çok mikrokozmm deneyleri gerçekleştirilmiştir. YBDK bölgelerinde (Ekvatorial Pasifik, sub-Arktik Pasifik, Güney Denizi, sub-Antarktika) yapılan 12 ayrı Fe ekleme deneyi (IronEX-I, IronEX-II, SOIRE, EisenEx, SEEDS-I, SOFEX-S, SOFEX-N, EIFEX, SERIES, SEEDS-II, SAGE ve FeeP) sonuçları, ortamdaki demir varlığının klorofil miktarını 10 kata kadar arttırabileceğini göstermiştir. Ayrıca bu deneyler, fotosentez sırasında sera gazlarının en önemlisi olan CO₂'in atmosferden çekilerek deniz diplerine taşınabileceği, atmosferdeki DMSP (dimetil-sülfonipropiyonat) ve dolayısı ile DMS (dimetil-sülfid) miktarlarının da artabileceğini ortaya koymuştur (Boyd vd., 2007).

Doğu Akdeniz'de gerçekleştirilen toz ekleme-mikrokozmm deneyleri (CYCLOPS) esnasında klorofil miktarında ve birincil üretimde dikkate değer bir artışın (5 kata kadar) olduğu gözlenmiştir (Herut vd., 2005).

Günindi ve Taşdemir (2010) yaptıkları çalışmada organik kirletici PCB (polychlorinated biphenyl) için hem kuru hem de yaş girdilerini hesaplamışlar ve yaş girdinin (yaklaşık 145 ng günde) kuru çökelmeye (yaklaşık 20 ng günde) kıyasla 7 kat daha çok olabileceğini göstermişlerdir. Akkoyunlu ve Tayanç (2003) Topkapı, Bağcılar, Maltepe ve Göztepe'den atmosferik örnekler toplamışlar, majör iyonların konsantrasyonlarını ve kaynağını belirlemişlerdir. Toplam nitrat ve amonyum çökel miktarları yaş çökel miktarına oranla %20 daha yüksek gözlemlenmiş ve bu iki türün daha yaş çökellerce sağlandığı tespit edilmiştir. Okay vd. (2002) Kaynarca'da yaş çökel toplayıp yukarda bahsi geçen bir benzer çalışma gerçekleştirmişlerdir. İm ve diğerleri (2013) atmosferik azot girdilerini Marmara, Karadeniz ve Doğu Akdeniz için model kullanarak hesaplamıştır. Şekil 2.1'den de anlaşılacağı gibi, özellikle Kuzey Marmara'ya kilometre kareye yılda 1500 kg ile 2000 kg atmosferik azot akısı gözlenmektedir. İstanbul için aerosol kompozisyonu (Theodosi vd., 2010), kaynağı ve olası kaynak bölgeler (Koçak vd., 2011) sınırlı sayıda çalışma da gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Marmara, Karadeniz ve Doğu Akdeniz’e atmosferik Azot girdileri (kg/km2.y, İm vd. 2013’ten alınmıştır).

İstanbul, sanayi bölgeleri, gemi trafiği, kuzeyinde bulunan sanayileşmiş/yarı-sanayileşmiş ülkelerden kaynaklanan antropojenik aerosoller ve çöllerden (özellikle sahra ve Orta Doğu çölleri) uzun mesafeli taşınım ile gelen mineral toz parçacıkları ile Marmara Denizi’ni ve atmosferi sürekli olarak etkilenmektedir. Diğer yandan, deniz yüzeyinden kaynaklanan (deniz tuzları ve metan sülfonik asit) parçacıklar da atmosferik aerosol yükünü arttırmaktadır.

Bilindiği üzere, makro besin tuzlarından fosfor enerji kaynağı (ATP), bilginin saklanması (DNA/RNA) ve yapısal (fosfolipidler) olaylar için gerekli azot özellikle amino-asitlerin temel yapı taşı ve klorofilin ana yapısı kullanılır (Blake de diğ., 2005). Mikro besin tuzları (Fe, Mn, Ni, Co, Cu, Zn ve Cd gibi) organizmanın gelişmesi için gerekli olup moleküler düzeyde kimyasal mekanizmalarda, aktif-merkez veya yapısal etmen olarak kullanılmaktadır (Morel vd., 2003).

Fitoplankton hücre yapısında pek çok işlevi bulunan karbonhidratlar denizel ortamda monosakkarit ya da oligo/polisakkarit formunda olabilir. Genellikle hücrede enerji depolama ve yapısal materyal olarak görev alırlar (Marynowski vd., 2022). Glikoz, galaktoz, mannoz, ksiloz ve fruktoz, fitoplanktondaki enerji ve yapıyla ilgili polisakkaritlerin monomerleri iken fruktoz, arabinoz ve ramnoz içeren polisakkaritler ise stres altındaki fitoplanktonlar tarafından sentezlenir (Kirpes vd., 2019, Ray vd., 2019, Knopf vd., 2022, Chen vd., 2022). Jayarathe ve diğerleri. (2016) yaptıkları çalışmada sakkarit ekleme deneylerinde 10. gün fitoplankton patlamaları görmüşlerdir.

De Souza ve diğerleri (2008) %74 diatom, %19 dinoflagellat ve %7 sinin nanoflagellatlardan oluştuğu 131 türden oluşan örnek grubu ile fitoplanktonların büyüme hızları üzerine çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucuna göre toplam türlerin %72.5 inin (Diatomlar) R stratejist olduğunu belirtmişlerdir.

S. costatum ile yapılan çalışmada (Yoder, 1979) büyüme hızını etkileyen en önemli sınırlayıcı faktörün silikat olduğunu belirtmiştir. Bu sonuç başka çalışmalarla da desteklenmektedir (Pratt, 1965; Huo et al., 2001).

Bu çalışma ile Marmara Bölgesi atmosferik mikro besin tuzu fraksiyonlarının, fitoplankton kompozisyonuna ve birincil üretime olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla atmosferik mikro ve makro besin tuzlarının yaş-kuru çökel miktarlarının belirlenebilmesi için örneklemeler yapılmış birincil üretimi destekleme miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca Marmara Bölgesi yüzey deniz suyu örnekleri alınarak ekleme deneyleri (belirli konsantrasyonlarda makro ve mikro besin tuzu ilaveleri) gerçekleştirilmiştir. Belirli periyotlarda örnekler alınmış, makro ve mikro besin tuzu, pigment, fitoplankton tür sayımı, toplam organik karbon, iyon (anyon-katyon) ve monosakkarit ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ekleme deneyleri ölçüm sonuçları ile zamansal olarak Fitoplankton tür kompozisyonuna, ortama ve biyokütle artışına neden olan olası etkileri ve birbirleri arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Örneklem Sahası

Çalışma için Marmara Denizi'nde belirlenen koordinatlardan deniz suyu (ODTÜ-DBE 'ne ait RV BİLİM 2 araştırma gemisi ile), karasal istasyondan aerosol ve toplam (kuru ve yaş) çökel örneklemeleri yapılmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Örneklem istasyonlarının coğrafik konumları.

3.1.1. Atmosferik Örneklem Sahası

Atmosferik filtre ve toplam çökel örnekleri İstanbul Teknik Üniversitesi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'ne (İTÜ-MTAL) konuşlandırılmış istasyondan toplanmıştır (Şekil 3.1). Örneklem istasyonu kıyıdan 5 m uzaklıkta ve deniz seviyesinden 2 m yüksekliktedir. Kentsel istasyon olarak sınıflandırılan istasyon araç ve deniz trafiği gibi güçlü kirletici kaynaklara çok yakın konumdadır (Putaud vd., 2002).

3.1.2 Denizel Örneklem Sahası

ODTÜ-DBE'nin 2016-2021 yılları arasında belirlenen koordinatlarında (45C) yaptığı çalışmalarda 20 m su derinliğinin en yüksek 8 μM , en düşük 1 μM nitrat konsantrasyona sahip olduğunu belirlemişlerdir. Tez çalışmasında yapılan Mikrokozim deneylerinde kullanılan deniz suyu, bu istasyonda klorofil-*a*'nın maksimum olduğu 8 m (Mart- 2022) ve haloklinin hemen üstü olan 20 m (Haziran-2022) derinliklerinden alınmıştır. Bu şekilde Marmara denizinde iki farklı derinlikte ve ortamdaki fitoplanktonların ekleme deneylerindeki davranışlarının gözlemlenmesi sağlanmıştır.

3.2. Örneklem

3.2.1 Atmosferik Örneklerin Toplanması

Denizel ortama atmosferik yollarla giren makro ve mikro besin tuzlarının belirlenmesi, Marmara Denizi'nde gözlenen üretime olan etkilerinin araştırılması amacıyla toplanacak aerosol örnekleri iki şekilde (toplam çökel ve iki kademeli aerosol örnekleri) yapılmıştır.

3.2.1.1 Atmosferik Toplam Çökel Örnekleri

Çalışma için toplanan toplam çökel örneklemeleri 5 L kapasiteli yüksek yoğunluklu polietilen şişelerle yapılmıştır. Şişe üzerlerinde belirli çapa sahip huniler yerleştirilmiş olup büyük çaplı kirleticileri engellemek için 33 µm gözenek açıklığı bulunan plastik elek kullanılmıştır. Besin tuzlarının zamansal olarak bozulmasının önüne geçmek amacıyla koruyucu madde (Timol, HNO₃) kullanılmıştır. Bu amaçla makro besin tuzu örneklemeler için kullanılan şişelere Timol, mikro besin tuzu örneklemeleri için kullanılan şişelere %10'luk suprapure HNO₃ asit eklenmiştir.

3.2.1.2 İki Kademeli Aerosol Örnekleri

Yapılacak çalışma için günlük aerosol örnekleri poli-karbonat filtrelerle toplanmıştır. Örneklem için kullanılan cihaz 10 µm'den büyük parçacıkları engelleyen pre-impaktör, iki kademeli filtre kaseti ve düşük debili vakum pompasından oluşmaktadır. Gözenek açıklığı 8 µm (Whatman 111114, 47 mm) ve 0.4 µm (Whatman 111107, 47 mm) olan filtreler kaset tutucuya sıralı yerleştirilip pre-impaktör silindire yerleştirilmiş ve cihaz 16.7 L/dk. vakumla çalıştırılmıştır. Bu şekilde atmosferik parçacıklar; iri 10-2.5 µm ve küçük <2.5 µm boy dağılımında toplanmıştır (Koçak vd. 2007).

3.2.2. Yüzey Suların Örneklenmesi

Kuzey Marmara deniz suyu örnekleri ODTÜ-DBE'ye ait BİLİM-II araştırma gemisi ile 2022 mart (8 m, 8 °C) ve 2022 haziran (20 m, 12 °C) dönemleri olacak şekilde 2 farklı zamanda alınmıştır. Deniz suyu örnekleri oşinografik rozet sistemine bağlı 15L'lik Niskin şişelerinden önceden temizlenmiş 15 adet 10 L kapasiteli mikrokozmoz şişelerine (Resim 3.1) aktarılmıştır. Şişeler mikrokozmoz çalışmalarının yapılacağı laboratuvara kadar karanlıkta ve örneklem sıcaklığında taşınmışlardır.



Resim 3.1. Ekleme deneyleri için kullanılan numune şişesi.

3.3. Ön Hazırlık

Yapılacak çalışma için kullanılacak tüm malzeme çalışma öncesinde belirli yıkama işlemine tabi tutulur.

- Ekleme deneyi şişeleri: Ekleme deneylerinde kullanılacak şişeler önce saf su ile temizlenmiş sonra da fosfat-free deterjan ile çalkalanmıştır. Şişeler saf su ile temizlendikten sonra %10'luk suprapure HCl ile tekrar çalkalanmış ve sonrasında saf su ile durulanarak naylon poşetlerle paketlenmiştir.
- Aerosol Filtreleri: Atmosferik örneklerin toplanacağı filtreler petri kaplarına yerleştirilip kodlanmıştır. Vakum desikatörde 24 saat bekletilen filtreler 10^{-5} gram hassasiyete sahip tartı ile tartılmışlardır.
- Toplam Çökel Şişeleri: Toplam çökel örneklemeleri için kullanılacak tüm malzemeler saf suyla yıkandıktan sonra fosfat-free deterjanda bir gün bekletilmiştir. Ertesi gün saf su ile yıkandıktan sonra %10 suprapure HCl asitte tekrar bir gün bekletilmiş ve son olarak saf su ile durulandıktan sonra laminar flow'da kurutulmuştur.

3.4. Mikrokozmm: Besin Tuzlarının Eklenmesi (Mikrokozmm)

Mikrokozmm deneyleri özgün kontrollü koşullar altında doğal fitoplankton toplulukların tepkilerini tahmin etmek için kullanılan basitleştirilmiş yapay ekosistemlerdir (Rothenberger vd., 2016). Makro ve mikro besin tuzu eklemeleri için 200x100x30 cm (Boy x En x Yükseklik) ebatlarında yapılmış inkübatör kullanılmıştır. İnkübatörün içi istenen ışık şiddetine ayarlı aydınlatma ile donatılmış olup su sirkülasyonu hızı ve sıcaklığı ayarlanabilmektedir (Resim 3.2). Mikrokozmm şişelerinden yapılan örneklemeler için plastik el pompasından yararlanılmıştır. Tablo 3.1 analizleri ve karşılık gelen örnek hacimlerini göstermektedir. Bağlı klorofil-*a* için 5

mL örnek alınırken Makro-Besin tuzu, mikro besin tuzu, monosakkaritler ve TOC/TN ölçümleri için 15'er mL, Akış Sitometresi/Fitoplankton ve Pigment analizleri içinse sırasıyla 50, 250 ve 400 mL örnek alınmıştır. Çalışmanın son günü dışında başlangıç hacminin %70 altına düşülmemiştir.



(a)



(b)

Resim 3.2. Ekleme deneyleri için kullanılan inkübatör (a) ve su sirkülatörü (b).

Tablo 3.1. Mikrokozmm deneylerinde ölçülen parametreler, örnek hacimleri ve örnek sayıları.

Parametre	Hacim (mL)	Örnek Sayısı
Bağlı klorofil- <i>a</i>	5	240
Makro-Besin Tuzu	15	240
Mikro-Besin Tuzu	15	240
Monosakkaritler	15	240
TOC	15	240
Fitoplankton	50	180
Akış Sitometresi	50	225
Fitoplankton Pigmentleri	400	240

2022 yılı mart-haziran dönemlerinde laboratuvar ortamına getirilen deniz suyu örnekleri ekleme öncesi inkübatörde 48 saat süresince bekletilmiştir. Ekleme deneyleri başlamadan, başlangıç koşullarının belirlenebilmesi için ekleme öncesinde örnekler alınmıştır. Ekleme deneylerinde LED ışık kullanılmıştır. Mikrokozmm şişelerine yapılan eklemeler ve şişe kodları Tablo 3.2’de sunulmuştur. Deney düzeneği iki ana başlıkta toplanabilir. Birincisi sadece makro besin tuzlarının ikincisi ise makro ve mikro besin tuzlarının beraber eklenmesi. Makro besin tuzu eklemelerinde nitrat, fosfat ve silikat kullanılırken makro ve mikro besin tuzlarının ilavesinde nitrat, fosfat ve silikatla birlikte mikro besin tuzları Fe, Mn, Co, Zn, Cu ve Cd kullanılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan mikrokozmm örnek şişeleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

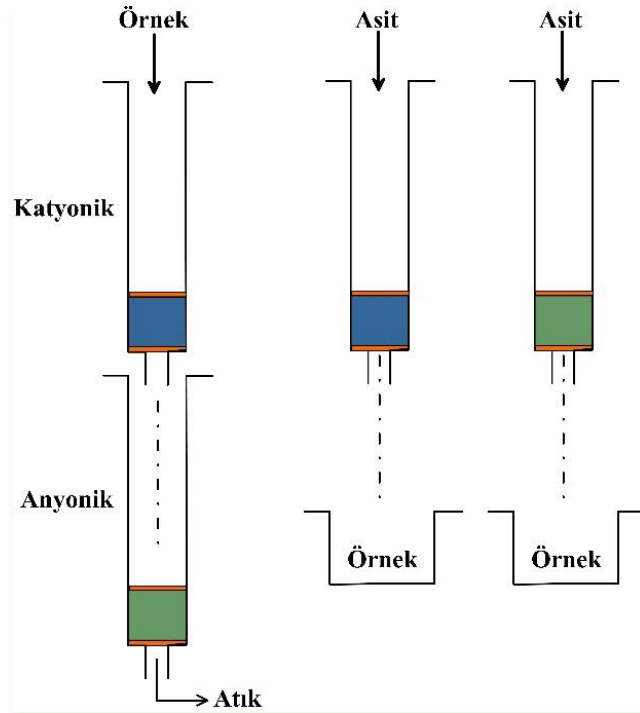
- 1- Kontrol: Kontrol örnek şişelerine hiçbir ekleme yapılmamıştır. Bu şişeler K1, K2 ve K3 olarak kodlanmıştır. Besin tuzları olmaksızın sadece alınan deniz suyu örneklerinin zamanla nasıl değişimler göstereceğini karşılaştırmak için kullanılacaktır.
- 2- Makro Besin Tuzları: İki farklı konsantrasyonda hazırlanan makro besin tuzları eklemelerinde birinci konsantrasyon alınan deniz suların için belirlenen en düşük durumu ve ikinci konsantrasyon ise en yüksek durumu yansıtacak şekilde belirlenmiştir. İlkinde Nitrat: 1 μM , fosfat: 0.15 μM ve Si: 5 μM eklenirken, ikincisinde Nitrat: 10 μM , fosfat: 1.5 μM ve Si: 50 μM ilave edilmiştir. Bu deney şişeleri nitrat konsantrasyonlarını yansıtacak şekilde N1-1, N1-2, N1-3 (1 μM nitrat: N1) ve N10-1, N10-2, N10-3 (10 μM nitrat: N10) kodlanmıştır.
- 3- Makro ve Mikro Besin Tuzları: Ho ve diğerlerinin (2003) $(\text{C}_{16}\text{N}_{16}\text{P}_1)_{100}\text{Fe}_8\text{Mn}_4\text{Zn}_{0.8}\text{Cu}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Cd}_{0.2}$ oranları dikkate alınarak makro besin tuzu ekleme şişelerine karşılık gelecek konsantrasyonlarda mikro besin tuzu (Fe, Mn, Co, Zn, Cu ve Cd) eklemeleri yapılmıştır. Belirlenen konsantrasyonlar Tablo 3.2’de sunulmuştur. Bu deney şişeleri ise N1Mi-1, N1Mi-2, N1Mi-3 (1 μM nitrat ve karşılık gelen mikro besin tuzlarını temsil etmekte) ve N10Mi-1, N10Mi-2, N10Mi-3 (10 μM nitrat ve karşılık gelen mikro besin tuzlarını temsil etmektedir) olarak kodlanmıştır.

Tablo 3.2. Mikrokozmoz deney düzeneği, şişe kodları ve eklenen besin uzun konsantrasyonları.

Şişe Kodu	Örnek Şişe Sayısı	Mikro- Besin (nM)	Makro-Besin (μM)
Kontrol	3	-	-
N1	3	-	Nitrat: 1, Fosfat: 0.15, Si: 5
N10	3	-	Nitrat: 10, Fosfat: 1.5, Si: 50
N1Mi1	3	Fe: 5, Mn: 2.5, Zn: 0.5, Cu: 0.25, Co: 0.125, Cd: 0.125	Nitrat: 1, Fosfat: 0.15, Si: 5
N10Mi1	3	Fe: 50, Mn: 25, Zn: 5, Cu: 2.5, Co: 1.25, Cd: 1.25	Nitrat: 10, Fosfat: 1.5, Si: 50

3.5. Örneklerin Ölçümlere Hazırlanması

- **Pigmentler:** Pigment analizleri için alınan örnekler loş ışıklı ortamda GF/F (Whatman 1825-025) filtrelerle süzölmüş ve 15 mL kapasiteli santrifüj tüpüne alınmıştır. Süzölen örnekler özetleme işlemine kadar derin dondurucuda saklanmıştır. Özetleme işlemi için santrifüj tüplerine 3 mL %90 aseton eklenmiş ve ultrasonik parçalayıcıda (Bandelin, sonopuls) ses dalgaları ile parçalanmıştır. Bir gece buz dolabında (+4 °C) bekletilen örnekler santrifüj edilmiş ve 0,42 µm (Millipore FGLP) gözenek aralıklı filtreden geçirilerek 1.5 ml'lik viallere alınmıştır. Son hacim 200 µL olacak şekilde derin dondurucuda analize kadar muhafaza edilmiştir.
- **Mikro Besin Tuzları:** Mikro besin tuzu (Fe, Cu, Ni, Zn, Cd ve Mn) eklenen şişelerden alınan örneklerde anyonik ve katyonik formların belirlenmesi amacıyla türleştirme yapılmıştır. Bu amaçla katyon değıştirici (Chelex-100) ve anyon değıştiricilerden (AG MP-1) kullanılmıştır. Anyonik ve katyonik formların örneklerdeki konsantrasyonlarının belirlenmesi için aktifleştirilmiş reçine kolonları birbirlerine seri bağlanarak türleştirme yapılmıştır (Şekil 3.2). Reçinelerin aktivasyonları birbirine benzemektedir. Yaklaşık 2 g reçine 2N HNO₃ kullanılarak bulamaç haline getirilir. Sonrasında 10 mL 1 M NH₄OH ile reçine NH₄⁺ ve OH⁻ formlarına dönüştürölmüştür. Katyonik reçine önde olacak şekilde birbirlerine seri bağlandıktan sonra örnek sıvılar yaklaşık 2 mL dak-1 akış hızıyla kolonlardan geçirilmiştir. Amonyum asetatla (4 mL 1 M, 5 defa) majör iyonlar (Na, Ca, Mg, K, Cl,) kolondan uzaklaştırıldıktan sonra nitrik asit yardımı (7 mL; 2 M) ile hedeflenen metaller kolondan sıvı faza aktarılır.



Şekil 3.2. Mikro besin tuzlarının katyonik ve anyonik türleştirilmesi.

- Monosakkaritler: Etüv yardımıyla (90 °C) önceden cam tüplere aktarılmış 10 mL örnek kurutulmuştur. Örnekler sülfürik asit (0,85 M) kullanarak 105 °C’de 5 saat süreyle otoklavda tutulmuştur. Bu işlem ile ortamdaki tüm polisakkaritlerin monosakkaritlere parçalanması sağlanmıştır. Ortam pH’sını nötralize etmek için 12.5 M NaOH kullanılmıştır. Örnekler ortamdaki tuzu uzaklaştırmak amacıyla katyon değiştirici (Chelex-100) ve anyon değiştiricilerden (AG MP-1) geçirilmiştir (Bio-rad 142-2832 ve 141-1841). Analizden önce, örnekler azot gazı ile doyurulup detektör sinyalini bozabilecek oksijen ortamdan uzaklaştırılmıştır.
- Diğer parametreler (Makro besin tuzu, Bağlı klorofil-*a*, Çözünür toplam organik karbon,) için bir ön hazırlık yapmaksızın analize kadar uygun saklama koşulları sağlanarak bekletilmişlerdir. Siyanobakteri, Proklorofit ve Piko-ökaryot bolluklarının belirlenmesi için alınan örnekler %25’lik glutaraldehit (50 ml örneğe 1.5 ml) eklenerek analize kadar oda koşullarında kahverengi şişelerde saklanır.

3.6. Ölçümler

- Bağlı Klorofil-*a* Analizleri: Ölçümler florometre (Trilogy, Turner Designs) cihazında (excitation 441/82 nm; Emission 660/710 nm) günlük gerçekleştirilmiştir. Deney ortamındaki floresans değişimlerinin hızlı bir şekilde görülmesine olanak sağlamaktadır. Değerlendirmede cihazın sinyal değerleri kullanılmıştır.

- Fitoplankton Türlerinin ve Bolluğunun Belirlenmesi: Sayımlar, ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü’nde Prof. Dr. Zahit Uysal tarafından, özellikle diatomlar, dinoflagellatlar ve kokkolitler olmak üzere mevcut tüm gruplara ait hücreler tür düzeyinde tanımlanmaya çalışılırken nicel ve nitel incelemeler için ters faz-kontrast mikroskop kullanılmıştır (Venrick et al., 1978).

- Pigmentlerin Belirlenmesi: Pigmentlerin belirteç olarak kullanıldığı gruplar Tablo 3.3’te verilmiştir (Jeffrey vd., 1997).

Tablo 3.3. Fitoplankton pigment belirteçleri.

Pigment	Belirteç olarak kullanılan grup	Ana Gruplar
Zeaksantin Divinyl Klorofil- <i>a</i>	Siyanobakteriler Proklorofitler	Prokaryotik Pikokpankton
19'-Butanoloksifukoksantin 19'-Heksanoloksifukoksantin Klorofil <i>b</i>	Krizofitler Primnesiyofitler Klorofitler	Ökaryotik Nanoflagellatlar
Fukoksantin Peridinin	Diatomlar Dinoflagellatlar	Büyük Ökaryotlar

Analizler Agilent marka 1100 serisi soğutmalı örnekleyiciye sahip HPLC (High Performance Liquid Chromatography, yüksek performans sıvı kromatografisi) cihazı ile yapılmıştır. Oto örnekleyici tarafından Amonyum asetat (1 M) ile yarı yarıya seyreltilen örnek ayırma kolonuna enjekte edilir. Ayırma işlemi MOS2-Hipersil (Thermo Scientific, gözenek büyüklüğü: 3µm, 150 x 4.6 mm) kolonu ve iki yürütücü faz kullanılarak gradient gerçekleştirilmiştir (Barlow vd., 1997). Yürütücü faz A metanol ve 1 M amonyum asetat (70:30 hacim/hacim) oluşurken yürütücü faz B %100 metanolden oluşmaktadır. Yürütücü faz akış hızı 1 mL/dakikaya ayarlanarak aşamalı yürütücü faz (dakika, % yürütücü faz A, % yürütücü faz B) uygulanırken (0;75;25), (1;50;50), (20;30;70), (25;0;100), (32;0;100), kolonun başlangıç koşullarına dönebilmesi için 7 dakika boyunca koşullandırılmıştır. Bu yöntemle sırasıyla Klorofil-c3, Klorofil c2, peridinin, 19-butanoyloxyfukoksantin, fukoksantin, 19-heksanoyloxyfukoksantin, diadinoksantin, alloksanthin, zeaksantin, lutein, divinil klorofil-a, klorofil-a and β-karoten tespit edilmiştir (Şekil 3.3).

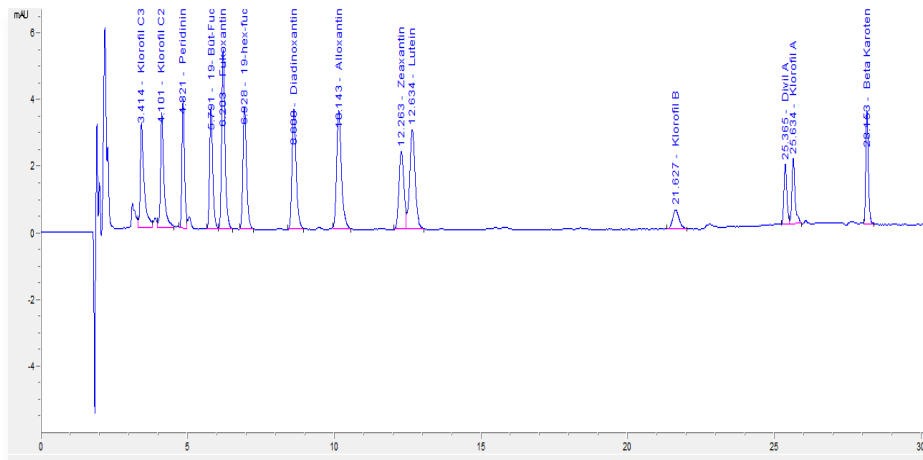
Standart metotlarla (spektrofotometrik metot) analizi yapılarak konsantrasyonu belirlenen klorofil-a örneği HPLC cihazında ölçülmüş ve belirlenen yöntemle sonuçlar karşılaştırılmış, belirgin bir fark görülmemiştir. Hesaplamalar için aşağıdaki formül kullanılmış, standart kromatogramı Şekil.3.3'te ve tepki faktörü (RF) değerleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

(Formül.3.1.)

$$\text{Konsantrasyon}(\mu\text{g/L}) = (\text{Örnekalanı} * \text{Ekstraksiyon Hacmi}(\text{ml}) * 10) / (0.5 * \text{Filtrasyon Hacmi}(\text{L}) * \text{Rf})$$

Tablo 3.4. Hesaplamalarda kullanılan Tepki Faktör (RF) değerleri:

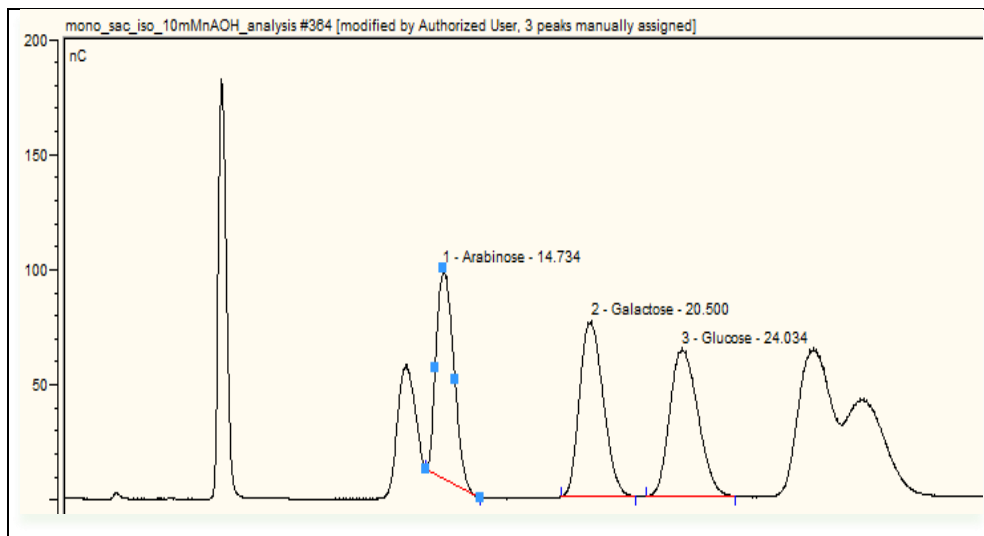
Pigment	C2	Peridinin	Fukoksantin	Klorofil-a
RF	23,2	7,33	12,8	5,16



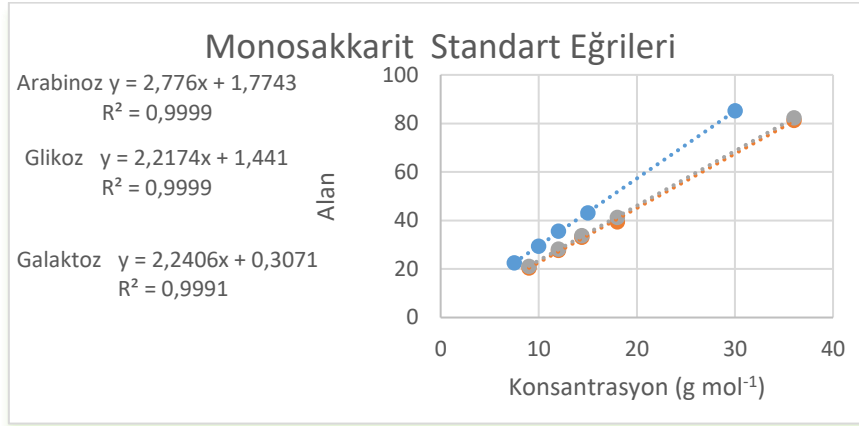
Şekil 3.3. Pigment analizleri standart kromatogramı.

- Siyanobakteri, Proklorofit ve Piko-ökaryotik hücre Bollukları: Akış Sitometresi yöntemi, kendine has floresan özellikleri olan Siyanobakteri, Proklorofit ve Piko-ökaryotik gibi farklı pikoplankton ve nanoplankton tiplerinin belirlenmesinde kullanılan bir tekniktir. Sayımlar için otomatik örnekleyiciye sahip 3-lazerli Apogee marka A450-micro Flow-system kullanılmıştır. Cihaz kalibrasyonu 1 μm 'lik sentetik tanecikler ve *synechococcus* monokültürüyle yapıldıktan sonra, 60 $\mu\text{L}/\text{dk}$. hızla örnekler enjekte edilmiştir. Taneciklerin sayımı sırasıyla 633 nm ve 488 nm dalga boyunda kırmızı ve turuncu ışıkların değişik oranlarda soğurması yoluyla gerçekleştirilmiştir. Klorofil ve phycocyanin kırmızı ışığı soğururken, phycoerythrin'in turuncu ışığı vermekte ve hücrelerin içerdikleri pigmentler bakımından ayrılmaları sağlamaktadır.

- Poli-sakkaritlerin Ölçülmesi: Örnek analizleri için Thermo marka iyon kromatografisi (ICS 5000) cihazı kullanılmıştır. Ayırma kolonu (Carbo-Pac Pa1) ve Amperometrik dedektör kullanılırken yürütücü faz olarak 10 mM NaOH, nano saflıkta su ve kolonu temizlemek amacıyla 300 mM NaOH kullanılmıştır. Dedektörün pH'sını sabit tutmak amacıyla kolon sonrası sisteme 300 mM NaOH verilmiştir. Tablo 3.5'te uygulanan yöntem özetlenmektedir. İlk 6 dk 10 mM NaOH yürütücü (ya da ayırma) fazı olarak kullanılırken 6 ile 50 dk süresince nano-saflıkta su ayırma fazı olarak kullanılmıştır. 50 ile 65 dk arasında kolon 300 mM NaOH ile temizlenip 65 ve 80 dk arası nano-saf su ile kolon koşullanmıştır. Amperometrik dedektörler yüksek pH'larda daha iyi performans verdiklerinden 0 ile 80 dk arası ayırma kolonu sonrası sisteme 300 mM NaOH 0.6 mL d⁻¹ akışla verilmiş ve pH 12.65 ile 12.70'ye aralığına ayarlanmıştır. Ana stok standartlar 15 μM hazırlanmış olup bu çözeltiden 4 ile 20 kat arası seyreltilmiş ara standartlar hazırlanarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan Standart eğrileri, denklemleri ve Kromatogramlar aşağıdaki şekillerdedir (Şekil 3.4 ve şekil 3.5).



Şekil 3.4. Monosakkarit standart kromatogramı.



Şekil 3.5. Monosakkarit standart eğri ve denklemleri.

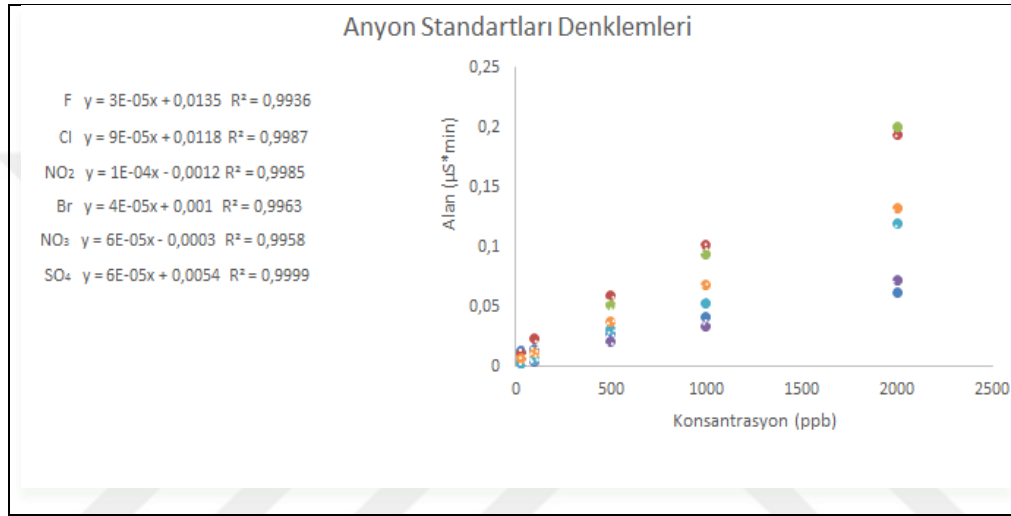
Tablo 3.5. Mono-sakkarit ölçümünde uygulanan yöntem özeti.

İyon Kromatografi Cihazı	Mono-Sakaritler
Ön Kolon	
Ayırma Kolonu	Carbo-Pac Pa1
Yürütücü Faz I (10 mL NaOH)	0-6 dk. (1 mL/dk.)
Yürütücü Faz II (nano-saf su)	6-50 dk. (1 mL/dk.)
Yıkama Fazı (300 mM NaOH)	50-65 dk. (1 mL/dk.)
Koşullanma (nano-saf su)	65-80 dk. (1 mL/dk.)
Kolon Sonrası Faz (300 mM NaOH)	0-80 dk. (0.6 mL/dk.)
Detektör	Amperometrik

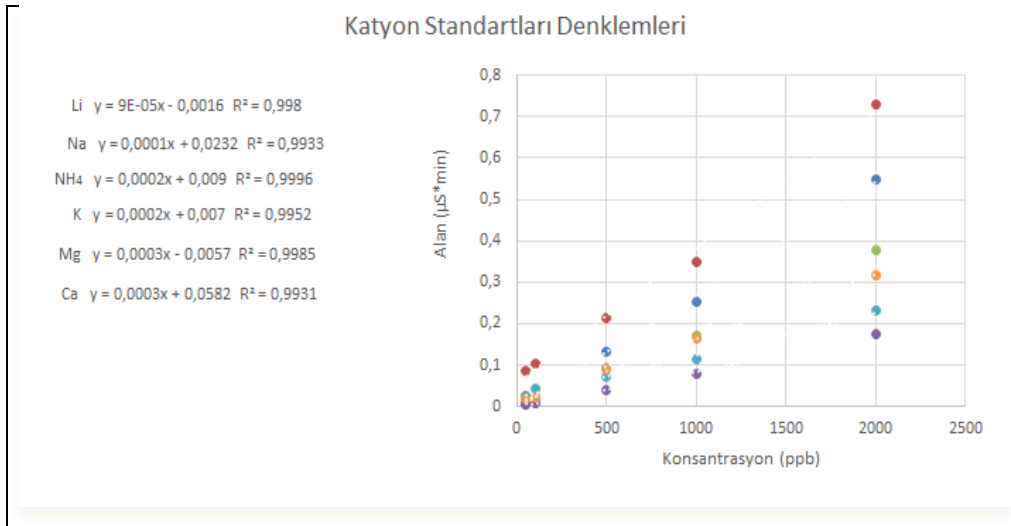
- Çözünür Toplam Organik Karbon ve Toplam Azot Ölçümleri: Standart metot (SM 5310) ile Suda-Çözünebilir Organik Karbon ve Çözünür Toplam Azot konsantrasyonları yüksek sıcaklık katalitik oksitleme cihazı (Teledyn Tekmar TORCH) kullanılarak belirlenmiştir. Sıvı örnek (0.5ml) yakma fırınına (750 °C) enjekte edildikten sonra organik karbon CO₂'e ve azot NO_x dönüştürülür. Yüksek saflıktaki taşıyıcı gaz CO₂'i dağıtıcısız kızılötesi dedektöre (nondispersive infrared detector) taşır. Ölçüm sonrasında gaz kızılötesi dedektöre yönlendirilerek NO_x konsantrasyonları belirlenir.

- Mikro Besin Tuzlarının Ölçülmesi: Toplanan örneklerdeki anyonik ve katyonik mikro besin tuzu (Fe, Cu, Ni, Zn, Cd ve Mn) konsantrasyonları Perkin Elmer marka İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS, Nexion 350) kullanılarak tespit edilmiştir. Ayrıca toplanan atmosferik örneklerde elementlerin (Al, Fe, Mn, Co, Ca, P, V, Ni, Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, As), toplam konsantrasyonları tespit edilmiştir. Diğer yandan, aerosollerde mikro besin tuzlarının çözünürlüğünü belirlemek amacıyla ölçümler yapılmıştır. Analizler öncesi katyonik formlar ile yapılan standart çalışmasında yöntem verimliliği tüm metaller için %90 ve üzerinde olduğu görülmüştür.

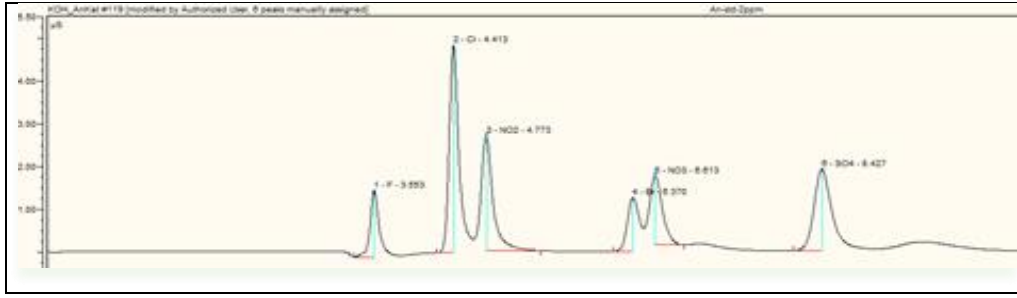
- Atmosferik Örneklerde Makro Besin Tuzlarının Ölçümü: Toplanan örneklerde NO_3^- , PO_4^{3-} (ve majör anyonlar Cl^- , SO_4^{2-} ,) ölçümleri Thermo marka ion kromatografisi cihazında gerçekleştirilmiştir. Yürütücü fazı (1 mL/dk) 30 mM KOH, AS11-HC kolonu ve iletkenlik dedektörü kullanılarak çalışma yapılmıştır. Majör katyonlar (NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) MSA (metansülfonik asit, 20 mM) yürütücü fazı (1 mL/dk), CS12-A kolonu, supprassör ve iletkenlik dedektörleri kullanılarak tespit edilmiştir (Product Manual for Dionex IonPac AS11-HC-4m, IonPac CS12A Manual). Hesaplamalarda kullanılan anyon ve katyonların denklem (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7) ye kromatogramları (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9) aşağıdaki gibidir.



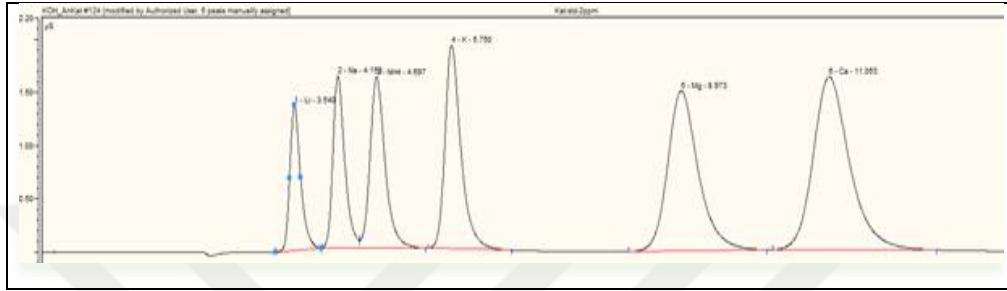
Şekil 3.6. Anyon standart eğri ve denklemleri.



Şekil 3.7. Katyon standart eğri ve denklemleri.



Şekil 3.8. Anyon standart kromatogramı.



Şekil 3.9. Katyon standart kromatogramı.

- Mikrokozim örneklerinde Makro Besin Tuzlarının Ölçümü: Örnekleri: Makro besin tuzu (nitrat, amonyum, fosfat, silikat) analizleri standart kolorimetrik metotlar kullanılarak (Grasshoff vd., 1983) 4 kanallı Oto-analizör yapılmıştır. Besin tuzlarının ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, NH_4^+ , $\text{Si}(\text{OH})_4$ ve o-PO_4^{3-}) ölçümünde iki kanallı Technicon A-II model oto-analizör kullanılmıştır. Dedeksiyon limitleri fosfat için 0.02, nitrat (amonyum için) için 0.05 ve silikat için de 0.1 μM olarak belirlenmiştir.

3.7. Atmosferik Akıların ve Hava Kütlelerinin Hesaplanması

Toplam ve kuru çökellerde akı türlerinin atmosferik akı hesabı Herut ve diğerlerinin (1999, 2002) çalışması esas alınarak yapılmıştır. Toplam çökellerde akı (A_t), yıllık yağış miktarı ($Y_{yıl}$) ile ilgilenilen maddenin hacim ağırlıklı ortalama konsantrasyonu (K_t) çarpılarak elde edilmiştir;

$$A_t = K_t x Y_{yıl}$$

Kuru çökellerde akı (A_{dk}) hesabı ise şu şekilde yapılmıştır;

$$A_k = K_k x \text{CH}_k$$

K_k : ilgilenilen maddenin atmosferik konsantrasyonlarının ortalaması

CH_{dk} : çökelme hızı

İTU-MTAL'a ulaşan hava kütlelerinin 3 günlük geri yörüngeleri HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory; Draxler ve Rolph, 2003) modeli kullanarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda NCEP/NCAR Reanalysis projesi kapsamında üretilen 2.5

derece yatay çözünürlüklü ve dikeyde 18 seviye olan meteorolojik veri setleri kullanılmıştır. Hava kütlelerinin dikey hareketi yine meteorolojik veri setinin dikey hızları esas alınarak belirlenmiştir.

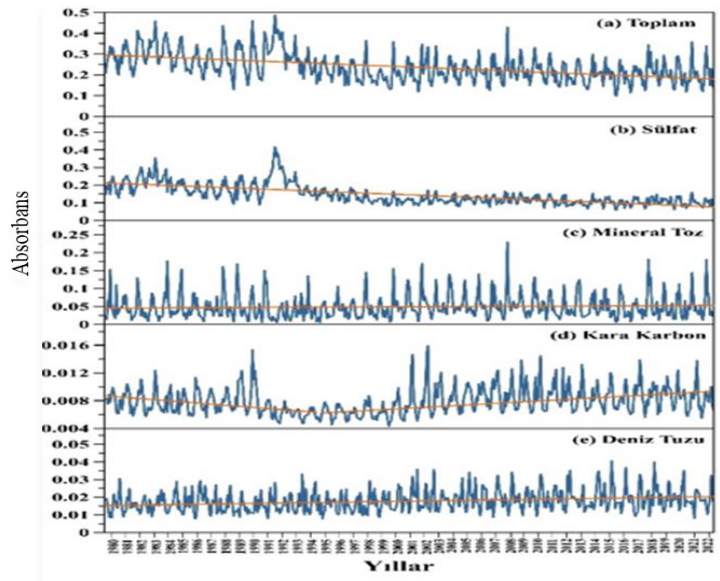


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Atmosferik Parçacıklar

4.1.1 Marmara Üzerindeki Atmosferik Parçacıkların 1980-2022 Yılları Arası Değişimi

Marmara Deniz'i, üzerindeki atmosferden denize mineral toz, karasal kaynaklı kirleticiler, siyah karbon gibi birçok kaynağın etkisindedir. Marmara üzerinde, 1980 ile 2022 tarihleri arasında bulunan tüm atmosferik kolon için Sülfat, Mineral Toz, siyah Karbon, Deniz Tuzu ve Toplam konsantrasyon değişimleri Şekil 4.1 gösterilmektedir. Marmara üzerinde gözlemlenen Toplam Aerosol konsantrasyonları 1980'lerden günümüze kadar azalma eğilimi ortaya koyarken 0.30'dan 0.20'ye düşmüştür (Şekil 4.1'a). Bunun başlıca nedeni ikinci aerosollerdeki azalma ile açıklanabilmektedir (Tutsak ve Koçak, 2019). Örneğin, Sülfat konsantrasyonları 40 yıllık sürede %50'lik bir azalma göstererek 0.20'den 0,10 değerine kadar gerilemiştir (Şekil 4.1b). Mineral Toz ve Deniz Tuzu konsantrasyonları 40 yıl içerisinde sırasıyla yaklaşık %10 ve %30'luk artış göstermişlerdir. Siyah Karbon 1980 ile 1990 sonlarına kadar düşme eğilimi gösterirken 1990 sonlarından günümüze kadar artış eğilimi göstererek 1980 değerlere tekrar ulaşmıştır. 1980'lerden günümüze kadar gözlenen bu değişimlere bağlı olarak ikinci aerosollere eşlik eden atmosferik azot girdilerinin son kırk yılda giderek azaldığı ileri sürülebilir. Diğer yandan, özellikle mineral toza eşlik eden mikro besin tuzları girdilerinde artış olabileceği düşünülebilir. Zamana bağlı olarak hem makro hem de mikro besin tuzlarının kompozisyonunun ve buna bağlı olarak akı oranlarının değişmiş olabileceği savı ortaya atılabilir.



Şekil 4.1. Marmara atmosferinde gözlenen parçacıklar için konsantrasyonlar. (a)Toplam, (b) Sülfat, (c) Mineral Toz, (d) Siyah Karbon ve (e) Deniz Tuzu.

4.1.2 Suda-Çözünebilir İyonlar, Makro Besin Tuzları, Suda Çözünebilir Organik Azot (SÇOA)

İki değişkenin birbirleri arasında gösterdiği değişim etkileşim katsayıları ile yorumlanabilir. Veri setlerindeki güçlü etkileşim;

- Ortak kaynağı,
- Aynı oluşum/ayırışma mekanizmalarını,
- Benzer taşınım ilişkisini açıklamakta faydalı olmaktadır.

Örnek sayısı ile verinin anlamlılığı birbirlerine bağımlı olduğundan düşük etkileşim katsayıları (r) istatistiksel analizlerde büyük önem taşımaktadır. Etkileşim katsayıları beş sınıfa ayrılmıştır (Koçak vd., 2004.a).

- a) $r = 0$, etkileşim yok
- b) $r = 0-0.4$, zayıf etkileşim
- c) $r = 0.4-0.7$, ılımlı etkileşim
- d) $r = 0.7-1.0$, güçlü etkileşim
- e) $r = 1.0$, mükemmel etkileşim

Suda-çözünebilir iyonlar için etkileşim katsayıları Tablo 4.1’de sunulmaktadır. Deniz tuzu kaynaklı Na^+ ve Mg^{2+} kendi aralarında güçlü etkileşim katsayıları göstermektedir ($r > 0,78$, $p < 0,05$). Suda-çözünebilir Na^+ ve Mg^{2+} iyonları arasındaki güçlü etkileşim katsayıları deniz tuzundan kaynaklandıklarının göstergesidir. Sülfat deniz tuzu iyonlarıyla güçlü etkileşim katsayıları göstermektedir. Deniz tuzlarının sülfatla ve nitratla olan etkileşim katsayıları, alkalın parçacıklarla asidik sülfat ve nitrat türlerinin tepkimeye girdiklerini göstermektedir. Diğer yandan sülfat ve nitrat bazik amonyum ile sırasıyla 0.92 ve 0.86 ile güçlü etkileşim katsayıları göstermiştir (Asit-Baz nötrleşmesi).

Toprak kökenli kalsiyum ile sülfat ($r = 0.44$, $p < 0.05$) ve nitrat ($r = 0.41$, $p < 0.05$) arasında ılımlı etkileşim katsayısı belirlenirken, toprak kökenli alkalın parçacıklarla asidik sülfat ve nitrat türlerinin tepkimeye girdiklerini göstermektedir. Kalsiyumun, potasyum ($r = 0.71$, $p < 0.05$) ve magnezyum (0.56, $p < 0.05$) sırasıyla güçlü ve ılımlı etkileşim katsayı tespit edilmektedir. Potasyum ve magnezyumla belirlenen katsayılar bu iyonların gözlenen konsantrasyonların en azından bir kısmının toprak kökenli kaynaktan etkilendiğini ortaya koymaktadır. Atmosferik örneklerin analiz sonuçları Uygur ve Saral’ın (2003) sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

İkincil aerosoller (gaz fazından partikül fazına geçen aerosoller) sülfat ve nitrat kendi aralarında güçlü etkileşim katsayısı gösterirken, her iki iyonun da gazdan parçacığa dönüşmelerine işaret etmekte veya yanma süreçlerinden kaynaklanabileceklerini ortaya koymaktadır. Suda-çözünebilir organik azot özellikle ikincil aerosoller sülfat, nitrat ve

amonyum ile güçlü etkileşim katsayıları sergilerken ($r > 0.85$, $p < 0.05$), SÇOA'nın önemli bir kısmının ikinci aerosollerle benzer etkileşim gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Suda-çözünebilir iyonlar ve organik azot arasındaki etkileşim katsayıları.

	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SÇOA
Na ⁺	1.00							
NH ₄ ⁺	0.68	1.00						
K ⁺	0.45	0.44	1.00					
Mg ²⁺	0.78	0.87	0.52	1.00				
Ca ²⁺	0.42	0.52	0.71	0.56	1.00			
NO ₃ ⁻	0.77	0.86	0.36	0.91	0.41	1.00		
SO ₄ ²⁻	0.71	0.92	0.46	0.91	0.44	0.94	1.00	
SÇOA	0.67	0.87	0.12	0.78	0.17	0.90	0.88	1.00

İTÜ-MTAL istasyonunda tespit edilen suda-çözünebilir iyonlar ve organik azot için istatistiksel özet Tablo 4.2'de verilmektedir. Aritmetik ortalamalara eşlik eden standart sapmalardan da anlaşılacağı üzere tespit edilen parametreler günlük büyük değişimler sergilemektedirler. Toplam çökeller için HCl koruyucu kullanıldığından örneklerde Klorür anyonu değerlendirilmeye alınmamıştır. İstanbul üzerinde yapılan çalışmalarda benzer günlük değişiklikler daha önceki çalışmalarda da rapor edilmiştir (Theodosi vd., 2010).

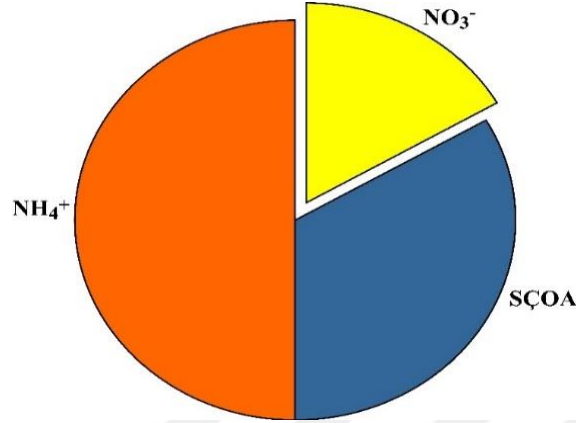
Sülfat, amonyum ve nitrat gibi ikincil aerosoller için belirlenen konsantrasyonlar ve standart sapmalar sırasıyla 5172 ± 968 , 1075 ± 640 ve 1664 ± 710 ng/m³ olarak belirlenirken, Kalsiyum (özellikle toprak kaynaklı) ve potasyum sırasıyla 885 ± 391 ve 526 ± 434 ng/m³ olarak tespit edilmiştir. Deniz tuzu kaynaklı sodyum ve magnezyum sırasıyla 3214 ± 1470 ve 120 ± 57 ng/m³ seviyelerinde belirlenmiştir. Sodyum, nitrat, kalsiyum ve magnezyum iyonlarının %80'ninden fazlasının iri parçacıklara eşlik ettiği gözlenirken sülfat ve amonyumun daha çok ince tanecikli parçacıklara eşlik ettiği gözlemlenmiştir. Suda-çözünebilir organik azot 514 ± 598 ng/m³ hesaplanmıştır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Suda-çözünebilir ve organik azot iyonlar için istatistiksel özet.

İyon	Aritmetik Ortalama (ng/m ³)	Standart Sapma
Na ⁺	3214	1470
NH ₄ ⁺	1075	640
K ⁺	526	434
Mg ²⁺	120	57
Ca ²⁺	885	391
NO ₃ ⁻	1664	710
SO ₄ ²⁻	5172	968
SÇOA	514	598

İnorganik azotlar (NH₄⁺, NO₃⁻) ve SÇOA'nın nmol/m³ birimi cinsinden suda-çözünebilir toplam azota katkıları Şekil 4.2'de verilmiştir. En büyük katkıyı NH₄⁺ %49 ile

yaparken S₂O₃ ve NO₃⁻ sırasıyla %29 ve %22 yapmaktadırlar. Atmosferik akılar düşünüldüğünde suda-çözünebilir organik azotun önemli bir yere sahip olabileceğine işaret etmektedir (Nehir ve Koçak, 2018).



Şekil 4.2. NH₄⁺, NO₃⁻ ve S₂O₃'nın nmol/m³ birimi cinsinden Suda çözünebilir toplam azota katkıları.

4.1.3. Atmosferik Elementler, Suda-Çözünebilir Fosfor ve Mikro Besin Tuzları

Aerosol örneklerinde belirlenen elementlerin (Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Al, V, As, Cd, Pb ve P) etkileşim katsayıları Tablo 4.3'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Al ve Fe elementlerinin daha çok toprak kaynaklı olduğu (Kubilay ve Saydam, 1995; Sandori ve Migon, 1997; Herut vd., 2001) belirlenirken P, Co ve Mn elementinin hem toprak hem de insan kaynaklı parçacıklardan kaynaklanabildiği (Kubilay ve Saydam, 1995; Sandori ve Migon, 1997; Herut vd., 2001), Ni, Cu, Zn, V, As, Cd ve Pb elementlerinin ise daha çok insan kökenli aerosollerden kaynaklandığı ortaya konmuştur (Güllü vd., 1998; Koçak vd., 2009, Koçak vd., 2011; ekle). Mn ve Fe kendi aralarında güçlü etkileşim katsayıları ($r=0.74$) gösterirken Cd hariç diğerlerinin ılımlı etkileşim katsayıları sahip olduğu görülmektedir. Bu iki elementin daha çok toprak kaynaklı olduğu ancak atık yağ yakımı (Ni ve V), atık, çöp yakma ve araç parçalarının yıpranması (Zn) ve kömür yakımı (As) gibi antropojenik aktivitelerden de etkilenmiş olabileceği ileri sürülebilir. Ni, V, As ve Zn elementleri (Cu hariç) hem kendi aralarında hem de diğer kirleticilerle güçlü etkileşim katsayıları sergilerken özellikle Al ve P elementleriyle sergiledikleri güçlü etkileşim katsayıları dikkat çekmektedir. Al ve P elementlerinin çalışma süresince özellikle kirleticili kaynaklı olduğu ve kirleticilerin benzer bir taşınım örüntüsüne sahip olabilecekleri düşünülebilir. Ayrıca Al elementinin zenginleşme faktörlerini hesaplamada kullanılamayacağına işaret etmektedir.

Tablo 4.3. Elementler arasındaki etkileşim katsayıları.

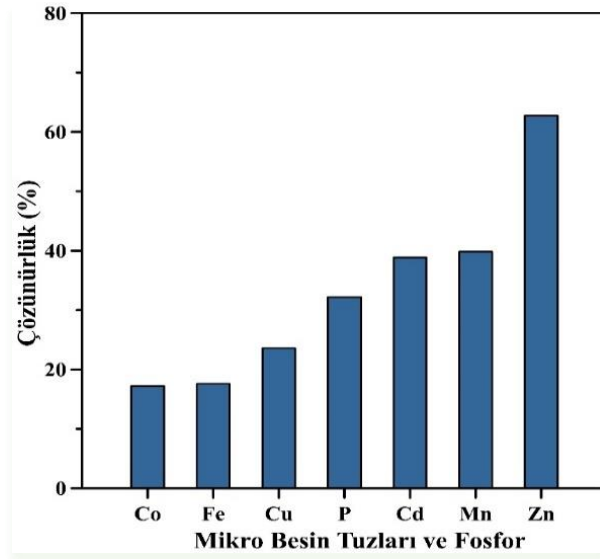
	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	V	As	Cd	Pb	P
Mn	1.00											
Fe	0.74	1.00										
Co	0.51	0.61	1.00									
Ni	0.59	0.72	0.89	1.00								
Cu	0.47	0.67	0.47	0.64	1.00							
Zn	0.56	0.67	0.91	0.98	0.55	1.00						
Al	0.59	0.69	0.89	0.97	0.50	0.97	1.00					
V	0.56	0.66	0.87	0.94	0.41	0.95	0.99	1.00				
As	0.55	0.64	0.91	0.96	0.46	0.99	0.98	0.97	1.00			
Cd	0.38	0.42	0.74	0.78	0.35	0.75	0.73	0.72	0.75	1.00		
Pb	0.59	0.74	0.86	0.97	0.61	0.96	0.97	0.94	0.95	0.73	1.00	
P	0.52	0.67	0.91	0.97	0.50	0.99	0.98	0.97	0.99	0.74	0.95	1.00

Elementlerin toplam konsantrasyonları için istatistiksel özet Tablo 4.4’de verilmiştir. Al, Fe, Zn ve V en yüksek konsantrasyonları sergilerken ortalama değerleri sırasıyla 690.1 ± 504.3 , 460.1 ± 336.2 , 229.9 ± 107.2 ve 200.5 ± 88.3 ng/m³ hesaplanmıştır. En düşük konsantrasyonlar sırasıyla 0.5 ± 0.3 , 1.4 ± 0.7 ng/m³ ortalamalarıyla Cd ve Co için tespit edilmiştir. Pb konsantrasyonu 6.5 ± 3.0 ng/m³ gözlemlenirken kurşunsuz yakıt yasaklarının olumlu sonuç verdiğini ortaya koymaktadır (Koçak vd., 2005). Mn, Ni, Cu, As ve P elementleri için ortalama değerler sırasıyla 11.8 ± 7.8 , 81.6 ± 39.5 , 22.1 ± 10.9 , 24.0 ± 27.9 ve 50.1 ± 22.5 ng/m³ belirlenmiştir.

Tablo 4.4. Elementler ve fosfor için istatistiksel özet.

İz element	Aritmetik Ortalama (ng/m ³)	Standart Sapma
Mn	11.8	7.8
Fe	460.1	336.2
Co	1.4	0.7
Ni	81.6	39.5
Cu	22.1	27.9
Zn	229.9	107.2
Al	690.1	504.3
V	200.5	88.3
As	24.0	10.9
Cd	0.5	0.3
Pb	6.5	3.0
P	50.1	22.5

Şekil 4.3 ve Tablo 4.5 sırasıyla mikro besin tuzları (ve fosfor) için yüzde çözünürlük ve istatistiksel özeti göstermektedir. Yüzde çözünürlükler Tablo 4.4 ve Tablo 4.5 kullanılarak hesaplanmıştır. Fe ve Co %17 çözünürlük gösterirken en yüksek çözünürlüğü %63 ile Zn göstermiştir. Cu ve P sırasıyla %23 ve %32 çözünürlük sergilerken Cd ve Mn %40 dolayında çözünürlük sergilemişlerdir. Özetleme işlemi su ile yapılmış ve gözlenen çözünürlüklerin değişebilir iyon ve karbonat fazlarıyla ilgili olabileceği söylenebilir (Chester vd., 1989).



Şekil 4.3. Mikro besin tuzlarının ve fosforun yüzde çözünürlüğü.

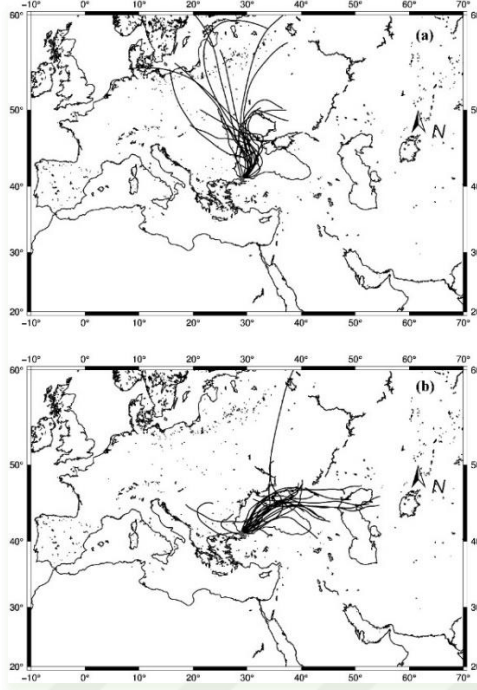
Tablo 4.5. Suda çözünebilir mikro besin tuzları ve fosfor için istatistiksel özet.

Element	Aritmetik Ortalama (ng/m ³)	Standart Sapma
Mn	4.7	3.6
Fe	81.0	135.9
Co	0.2	0.2
Cu	5.2	4.4
Zn	144.2	241.2
Cd	0.2	0.1
P	16.1	7.4

4.1.4. Hava Kütlelerinin Üç-günlük Geri Yörüngeleri

HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory; Draxler ve Rolph, 2003) modeli kullanarak hava kütlelerinin 3 günlük geri yörüngelerinin tespiti hesaplanmıştır. NCEP/NCAR Reanalysis projesi kapsamında üretilen 2.5 derece yatay çözünürlüklü ve dikeyde 18 seviye olan meteorolojik veri setleri kullanılmıştır.

Örnekleme süresince istasyonun kuzeyli rüzgarların (özellikle kuzeydoğu) etkisi altında olduğu tespit edilmiştir. Rüzgâr taşınımlarının etkisini anlamak amacıyla hava kütleleri ikiye ayrılmıştır (Şekil 4.4). Yapılan istatistiksel inceleme sonucu sadece çözünür Co için güven aralığı %92 fark gözlemlenmiştir. Kuzeyli rüzgarlarla gelen hava kütlelerinde gözlenen Co (0.30 ng/m³) diğer hava kütlelerine (0.18 ng/m³) kıyasla 1.7 kat daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 4.4. Hava kütlelerinin sınıflandırılması.
(a) Kuzey ve (b) Kuzeydoğu hava akıları.

4.1.5. Atmosferik Besin Tuzlarının Akıları

Makro besin tuzları nitrat ve amonyum için kuru çökelme hızları, kuru çökelme ve toplam akıları materyal ve yöntemler bölümünde verilen denklemlerden yararlanılarak hesaplanmıştır. Marmara denizine makro besin tuzlarının ortalama akıları Tablo 4.6 gösterilmektedir. Tablodan, nitratın ($14 \text{ mmol/m}^2\cdot\text{y}$) kuru çökelme akısı amonyuma ($6 \text{ mmol/m}^2\cdot\text{y}$) kıyasla 2.5 kat daha yüksek bulunmuştur. Nitratın büyük bir çoğunluğunun iri parçacıklara eşlik etmesi bu durumun en önemli nedeni olabilir. SÇOA (suda-çözünebilir organik azot) akısı nitrat akısı ile kıyaslanabilir seviyedeysen, $16 \text{ mmol/m}^2\cdot\text{y}$ hesaplanmıştır. Fosfat için kuru çökelme $1 \text{ mmol/m}^2\cdot\text{y}$ belirlenmiştir. Tüm makro besin tuzları için hesaplanan toplam çökelme akıları ortalama 1350 mm yağış alan bölgede yaş çökelmenin önemli olabileceğini ortaya koymuştur. Kuru çökelme nitrat ve SÇOA'nın sırasıyla %35 ve %42'sini açıklarken amonyum ve fosfatın %17 ve %25'ini açıklamaktadır. Molar N/P oranı dikkate alındığında Redfield ($N/P = 18$) oranına kıyasla hem kuru ($N/P = 36$) hem de toplam ($N/P = 28.2$) çökelmenin yaklaşık 2 kat daha yüksek olduğu gözlenmektedir.

Atmosfer yoluyla yıl boyunca sağlanan tüm azot ($113 \text{ mmol/m}^2\cdot\text{y}$) ve fosforun ($4 \text{ mmol/m}^2\cdot\text{y}$) birincil üreticiler için kullanılabilir olduğu varsayılır ve Redfield C/P (106) ve C/N (106/16) oranlarına başvurulursa, Marmara denizinde günlük fosfor ve azot sırasıyla $13.9 \text{ mg.C/m}^2\cdot\text{d}$ ve $24.6 \text{ mg.C/m}^2\cdot\text{d}$ yeni üretim destekleyebileceği hesaplanmıştır. Marmara denizinde yapılan çalışmalar birincil üretimin 64 ile $1850 \text{ mg.C/m}^2\cdot\text{d}$ aralığında olabileceğini

göstermiştir (Ergin vd., 1994; Yılmaz A., 2002). Belirlenmiş sayısal aralıklar göz önüne alındığında Atmosferik azot Marmara Denizi'nde birincil üretimi en az %1.3 en fazla %38.4 destekleyebileceği fosforun ise en az %0.8 en fazla %21.7 aralığında destekleyebileceği hesaplanmıştır.

Tablo 4.6. Makro Besin tuzlarının atmosferik akıları.

Besin tuzu	Kuru Çökelme (mmol/m ² .y)	Toplam Çökelme (mmol/m ² .y)
Fosfat	1	4
Nitrat	14	40
Amonyum	6	35
SÇOA	16	38
TA	36	113
N/P Molar	36	28.2

Mikro besin tuz akıları $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{y}$ birimi cinsinden Tablo 4.7'de verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı gibi toplam çökel değerleri tüm mikro besin tuzları için kuru çökele kıyasla çok daha yüksek gözlemlenmiştir. Bunun başlıca nedeni toplam ve aerosol örneklerinin toplanması esnasında şiddetli yağışların gözlemlenmesidir. Mikro besin tuzlarının azota karşı molar oranları Tablo 4.8'de sunulmuştur. Tablodaki molar oranlar dikkate alındığında, atmosferik girdide Fe ve Zn azota kıyasla zengin olduğu buna karşın, Mn, Co, Cu ve Cd mikro besin tuzlarının eksik olduğu tespit edilmektedir. Örnekleme yaz döneminde yapıldığından mikro besin tuz akılarının az hesaplanmış olabileceği düşünülebilir.

Tablo 4.7. Mikro Besin tuzlarının atmosferik akıları.

Besin tuzu	Kuru Çökelme ($\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{y}$)	Toplam Çökelme ($\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{y}$)
Fe	229.3	790.1
Mn	27.4	106.8
Co	1.3	4.1
Cu	5.6	21.8
Zn	162.6	474.2
Cd	0.15	0.43

Tablo 4.8. Molar N(Azot) /Mikro Besin tuzu oranları.

Mikro Besin Tuzu	Ho vd. (2003) türetilmiştir N/Mikro Besin Tuzu Oranı	Atmosfer N/Mikro Besin Tuzu Oranı
Fe	200	143
Mn	400	1058
Co	2000	27561
Cu	4000	5183
Zn	8000	238
Cd	8000	262791

4.2 Mikrokozmm: Makro ve Mikro Besin Tuzlarının Beraber Eklenmesi (Mikrokozmm)

Çalışmalar sırasında kontroller, makro ve mikro besin tuzlarının ekleme miktarları göz önüne alınarak kodlanmıştır. Kontrol şişeleri ‘K’, 1 μM NO_3^- , 0.15 μM PO_4^{3-} , 5 μM Si(OH)_4^- ‘N1’, 10 μM NO_3^- , 1.5 μM PO_4^{3-} , 50 μM Si(OH)_4^- ‘N10’, 1 μM NO_3^- , 0.15 μM PO_4^{3-} , 5 μM Si(OH)_4^- ve karşılık gelen mikro besintuzlar ‘N1Mi1’, 10 μM NO_3^- , 1.5 μM PO_4^{3-} , 50 μM Si(OH)_4^- ve karşılık gelen mikro besin tuzlar ‘N10Mi1’ kodlanmış, tablolarda ve şekillerde bu şekilde ifade edilmişlerdir.

4.2.1. Başlangıç Koşulları (Besin Tuzları Ekleme Öncesi Koşullar)

Mikrokozmm deneyleri öncesi kontrol ve ekleme yapılacak şişelerde gözlenecek parametrelerin istatistiksel olarak bir fark gösterip göstermediğini ve herhangi bir sapmaya sebep olup olmayacağını tespit etmek amacıyla besin tuzları eklenmeden önce kuvözde koşullandırılmış şişelerden örnekler alınıp analiz yapılmıştır. Başlangıç koşulları, makro besin tuzları, amonyum, mikro besin tuzları, Klorofil-*a*/baskın pigmentler, hücre sayısı/baskın fitoplankton türleri ve monosakkaritler için karşılaştırılıp değerlendirilmiştir.

İlkbahar dönemi deneyi mart ayında 8 metre derinlikten (klorofil maksimum) alınıp gerçekleştirilmiştir. Yaz dönemi deneyi için örnekler 45C istasyonunun 20 metre derinliğinden (haloklinin üzeri, besin tuzlarınca zengin) alınmıştır.

a) Makro Besin Tuzları (NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4^-):

Tablo 4.9, ilkbahar (mart 2022) mevsiminde deney şişeleri için NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4^- konsantrasyonlarını (μM) göstermektedir. Deney şişelerinde tespit edilen ortalama NO_3^- 0.30 μM ile 0.40 μM arasında gözlemlenirken PO_4^{3-} değerleri 0.07 μM ve 0.13 μM aralığında belirlenmiştir. Şişelerde ölçülen ortalama Si(OH)_4^- ise 1.38 μM ile 1.85 μM aralığındadır. Şişeler için hesaplanan aritmetik ortalama ve standart sapmalar göz önüne alındığında benzer değerler sergilediği tespit edilmektedir. Yaz mevsimi için deney şişelerinde belirlenen NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4^- konsantrasyonları Tablo 4.10’da sunulmuştur. Deney şişelerinde ölçülen ortalama NO_3^- 2.10 μM ile 2.45 μM aralığında belirlenirken PO_4^{3-} konsantrasyonları 0.07 μM ve 0.08 μM aralığında belirlenmiştir. Ortalama Si(OH)_4^- değerleri ise 6.47 μM ve 7.65 μM arasındadır. Şişeler için hesaplanan aritmetik ortalama ve standart sapmalar göz önüne alındığında her iki mevsimde de deney setlerinin başlangıçta makro besin tuzları NO_3^- , PO_4^{3-} ve Si(OH)_4^- için benzer değerler sergilediği tespit edilmektedir. Her deney şişesinden üçer tane olması, deney şişeleri arasında istatistiksel olarak farklı olup olmadığı test edilebilmesine olanak sağlar. Bu amaçla, non-parametrik Kruskal-Wallis testi uygulanmıştır. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 sırasıyla ilkbahar ve yaz mevsimlerinde şişelerde ölçülen nitrat, fosfat ve silikat için Kruskal-Wallis test

sonuçlarının istatistiksel özetini göstermektedir. Test sonucu, her iki dönem deney çalışmalarında nitrat, fosfat ve silikat için istatistiksel olarak fark göstermediğini %95 güven aralığında ortaya koymuştur.

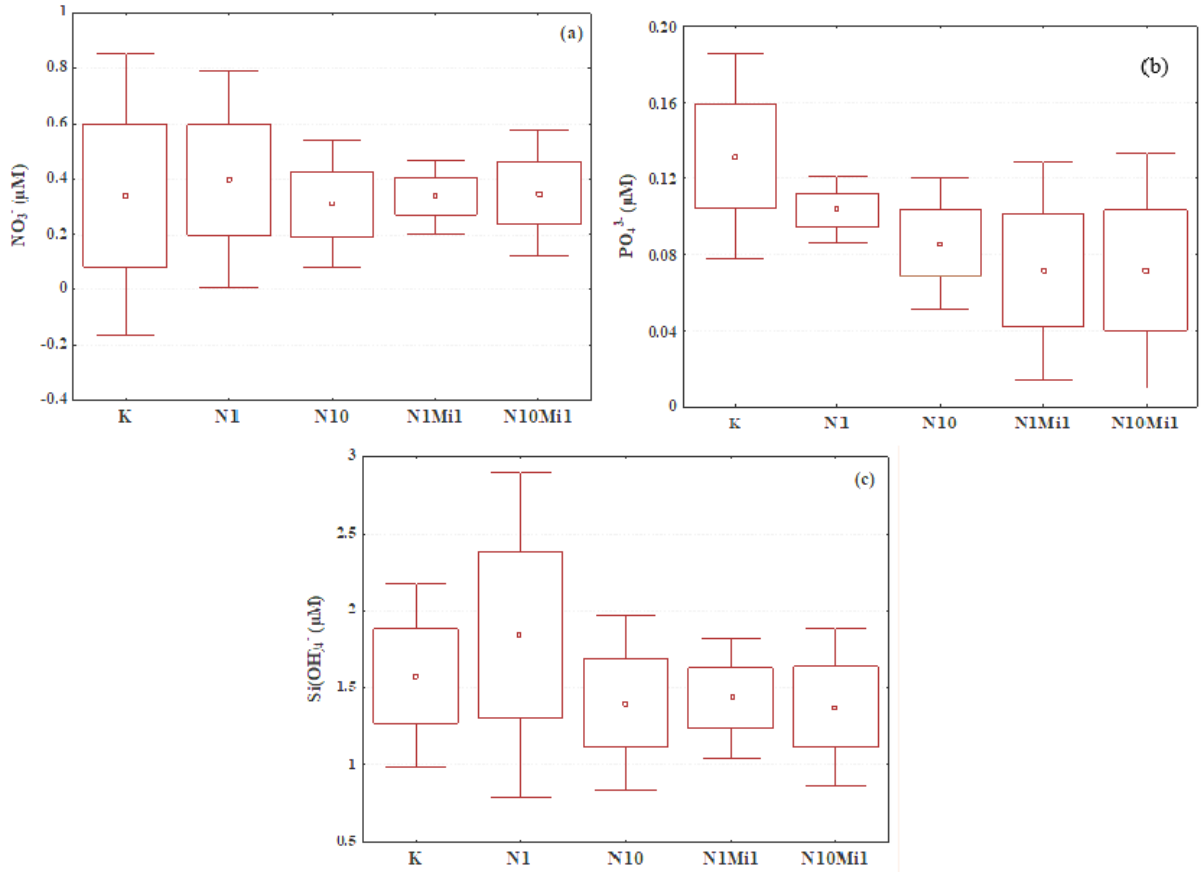
Yaz mevsimi 20 metre derinlikte belirlenen NO_3^- konsantrasyonları ilkbahara (8 metre derinlik) kıyasla yaklaşık 8 kat daha fazla olduğu, PO_4^{3-} değerlerinin ise benzer olduğu tespit edilmektedir. Yaz mevsiminde belirlenen Si(OH)_4^- (20 metre) konsantrasyonlar ilkbaharda (8 metre) belirlenen değerlerin neredeyse 3 katıdır. Şişelerde ölçülen nitrat ve fosfat değerleri dikkate alınırsa ilkbaharda N/P oranı 2.7 iken yaz mevsiminde ise 30.8 olarak hesaplanmıştır. İki dönem ve derinlik için makro besin tuzu kompozisyonu farklılık gösterirken N/P oranlara dayanarak ilkbahardaki birincil üretimin azot, yazın ise fosfor tarafından sınırlanabilir.

Tablo 4.9. İlkbahar mevsimi için deney şişelerinde ölçülen NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4^- için istatistiksel özet.

Şişe	Makro Besin Tuzu	Ortalama (μM)	Standart Sapma
K	NO_3^-	0.34	0.26
	PO_4^{3-}	0.13	0.03
	Si(OH)_4^-	1.58	0.03
N1	NO_3^-	0.40	0.20
	PO_4^{3-}	0.10	0.02
	Si(OH)_4^-	1.85	0.53
N10	NO_3^-	0.31	0.12
	PO_4^{3-}	0.09	0.02
	Si(OH)_4^-	1.40	0.29
N1Mi1	NO_3^-	0.34	0.07
	PO_4^{3-}	0.07	0.03
	Si(OH)_4^-	1.43	0.20
N10Mi1	NO_3^-	0.35	0.07
	PO_4^{3-}	0.07	0.03
	Si(OH)_4^-	1.38	0.26

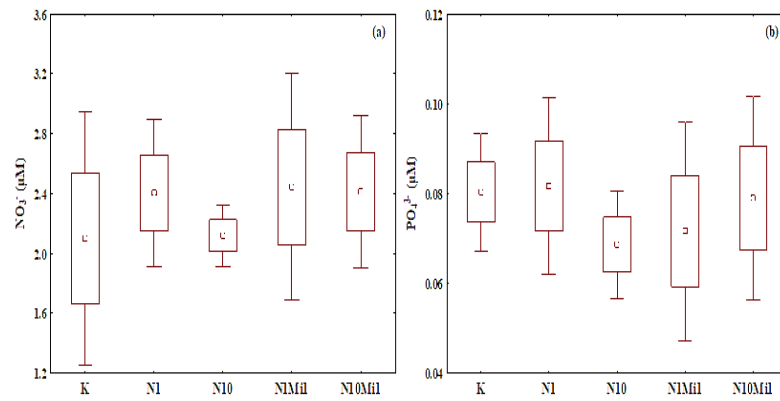
Tablo 4.10. Yaz mevsimi için deney şişelerinde ölçülen NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4^- için istatistiksel özet.

Şişe	Makro Besin Tuzu	Ortalama (μM)	Standart Sapma
K	NO_3^-	2.10	0.43
	PO_4^{3-}	0.08	0.01
	Si(OH)_4^-	6.72	0.86
N1	NO_3^-	2.40	0.25
	PO_4^{3-}	0.08	0.01
	Si(OH)_4^-	6.47	0.86
N10	NO_3^-	2.12	0.10
	PO_4^{3-}	0.07	0.01
	Si(OH)_4^-	7.35	2.93
N1Mi1	NO_3^-	2.45	0.38
	PO_4^{3-}	0.07	0.01
	Si(OH)_4^-	7.65	1.04
N10Mi1	NO_3^-	2.41	0.26
	PO_4^{3-}	0.08	0.01
	Si(OH)_4^-	7.53	1.74



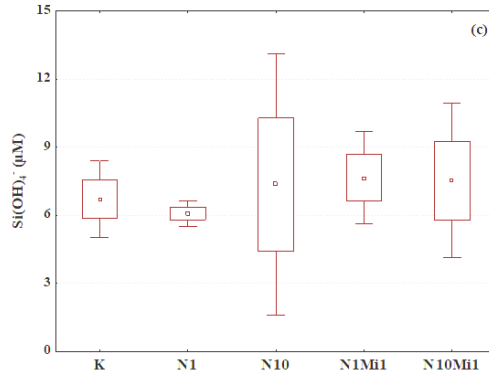
Şekil 4.5. Deney şişelerinde gözlenen makro besin tuzlarının ilkbahar mevsimi (8 metre) için istatistiksel özet ve kıyaslamalar. (a) NO_3^- , (b) PO_4^{3-} ve (c) $Si(OH)_4^-$.

$\square$ A.O $\square$ S.S $|$ A.O $\pm$ 1.96 x S.S
A.O: Aritmetik Ortalama ve S.S: Standart Sapma



Şekil 4.6. Deney şişelerinde gözlenen makro besin tuzlarının yaz mevsimi (20 metre) için istatistiksel özet ve kıyaslamalar. (a) NO_3^- , (b) PO_4^{3-} ve (c) $Si(OH)_4^-$.

$\square$ A.O $\square$ S.S $|$ A.O $\pm$ 1.96 x S.S
A.O: Aritmetik Ortalama ve S.S: Standart Sapma



Şekil 4.6. Devam. Deney şişelerinde gözlenen makro besin tuzlarının yaz mevsimi (20 metre) için istatistiksel özet ve kıyaslamalar. (a) NO_3^- , (b) PO_4^{3-} ve (c) Si(OH)_4^- .

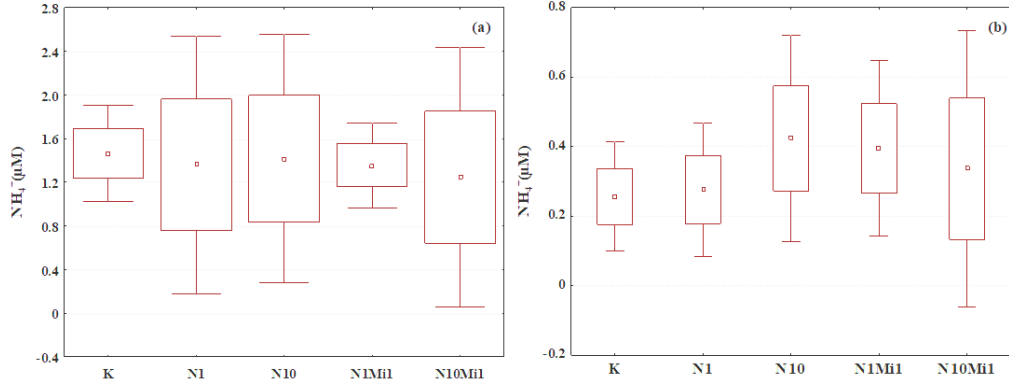
□ A.O □ S.S |——| A. O $\pm$ 1.96 x S.S
A.O: Aritmetik Ortalama ve S.S: Standart Sapma

b) Amonyum (NH_4^+):

Deney şişeleri için hem ilkbahar hem de yaz mevsimi NH_4^+ konsantrasyonları μM biriminde Tablo 4.11’de sunulmuştur. İlkbaharda NH_4^+ konsantrasyonları deney şişelerinde ortalama 1.25 ile 1.47 μM aralığında gözlemlenirken, yazın ise ortalama 0.26 ve 0.42 μM aralığındadır. NH_4^+ değerleri İlkbaharda yaz mevsimine oranla yaklaşık üç kat daha yüksektir. Deney şişeleri karanlıkta ODTÜ-DBE laboratuvarlarına transfer edilmiştir. Bu nedenle, bahsi geçen farkın, ilkbahar mevsiminde taşınan şişelerde solunum, bakteriyel aktiviteye, remineralizasyon ve zooplankton salgılarından kaynaklanabileceği düşünülebilir. Deney şişelerinin farklı olup olmadığını ortaya koymak amacıyla, diğer makro besin tuzlarında olduğu gibi non-parametrik Kruskal-Wallis testi uygulanmıştır. Şişelerde gözlenen NH_4^+ konsantrasyonlarının istatistiksel özeti ve kıyaslaması hem ilkbahar hem de yaz mevsimi için Şekil 4.7’te verilmiştir. Uygulanan test sonucunda, ekleme yapılmadan önce deney şişelerinde tespit edilen NH_4^+ değerlerinde istatistiksel olarak fark olmadığını %95 güven aralığında göstermiştir.

Tablo 4.11. Deney şişelerinde ölçülen NH_4^+ için istatistiksel özet.

	İlkbahar (8 metre derinlik)		Yaz (20metre derinlik)	
Şişe	Ortalama (μM)	Standart Sapma	Ortalama (μM)	Standart Sapma
K	1.47	0.22	0.26	0.08
N1	1.36	0.60	0.28	0.10
N10	1.42	0.58	0.42	0.15
N1Mi1	1.36	0.20	0.40	0.13
N10Mi1	1.25	0.61	0.34	0.20



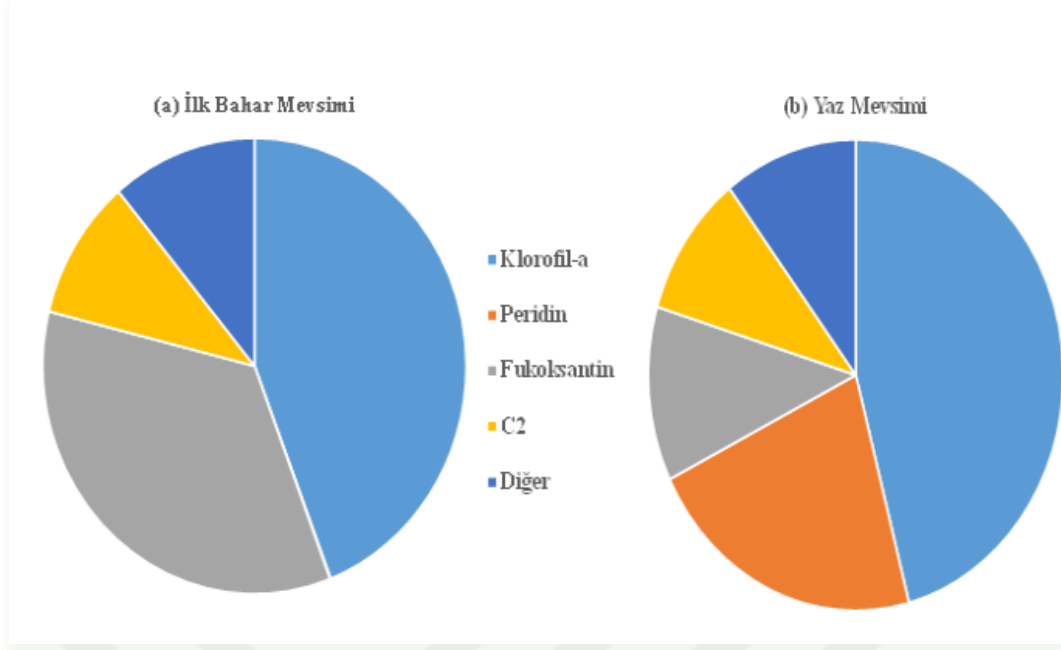
Şekil

4.7. Deney şişelerinde gözlenen NH_4^+ için istatistiksel özet ve kıyaslamalar. (a) İlkbahar 8 metre ve (b) Yaz 20 metre.

□ A.O □ S.S — A.O $\pm$ 1.96 x S.S
A.O: Aritmetik Ortalama ve S.S: Standart Sapma

c) Klorofil-a ve Baskın Pigmentler:

İlkbahar mevsiminde yapılan pigment ölçümleri, Klorofil-a'dan sonra Fukoksantin ve C2 pigmentlerinin deney şişelerinde baskın olduğu gözlemlenirken geriye kalan pigment konsantrasyonlarının 0.06 $\mu\text{g/L}$ değerinden düşük olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.12). Klorofil-a, Fukoksantin ve C2 değişimleri sırasıyla 0.60-1.22 $\mu\text{g/L}$, 0.63-1.09 $\mu\text{g/L}$ ve 0.19-0.34 $\mu\text{g/L}$ aralıklarında tespit edilmiştir. Pigment kompozisyonu (Fukoksantin ve C2) istasyonun Yaz mevsiminde ise Klorofil-a'dan sonra Peridinin, Fukoksantin ve C2 pigmentlerinin önemli olduğu gözlenmiştir (Tablo 4.13). Klorofil-a konsantrasyonları 0.77 ile 0.85 $\mu\text{g/L}$ arasında belirlenirken Peridinin 0.33 ve 0.42 $\mu\text{g/L}$ aralığında belirlenmiştir. Fukoksantin ve C2 sırasıyla 0.18-0.23 ve 0.13-0.22 $\mu\text{g/L}$ arasında tespit edilmiştir. İlkbahar ve yaz mevsiminde şişelerde tespit edilen pigment kompozisyonu Şekil 4.8'de sunulmuştur. Her iki mevsimde Fukoksantin ve C2 belirlenmesine karşın, Peridin sadece yaz mevsiminde gözlenmiştir. İlkbaharda Klorofil-a, Fukoksantin ve C2 pigment kompozisyonunun sırasıyla %44, %35 ve %10'nu açıklarken bu örneklerin Diatomlarca zengin olduğuna işaret etmektedir. Yazın İlkbaharda Klorofil-a, Peridinin, Fukoksantin ve C2 pigment kompozisyonunun sırasıyla %46, %22, %12 ve %10'nu açıklarken bu örneklerin öncelikle Dinoflegellatlarca ve sonra Diatomlarca zengin olduğuna işaret etmektedir. Uygulanan Kuruskal-Wallis testi, ekleme yapılmadan önce deney şişelerinde tespit edilen Klorofil-a ve baskın pigment değerlerinde istatistiksel olarak fark olmadığını %95 güven aralığında göstermiştir.



Şekil 4.8. İlkbahar ve yaz dönemi deney şişelerinde gözlenen pigment kompozisyonu.

Tablo 4.12. İlkbahar (8 metre) 2022 dönemi deney şişelerinde T0 zamanında ölçülen klorofil-*a*, Fukoksantin ve C2 için istatistiksel özet.

Şişe	Pigmentler	Ortalama (µM)	Standart Sapma
K	Klorofil- <i>a</i>	1.10	0.41
	Fukoksantin	0.78	0.32
	C2	0.22	0.10
N1	Klorofil- <i>a</i>	1,11	0.06
	Fukoksantin	0.70	0.14
	C2	0.19	0.06
N10	Klorofil- <i>a</i>	0.60	0.06
	Fukoksantin	0.63	0.51
	C2	0.19	0.20
N1Mi1	Klorofil- <i>a</i>	1.14	0.21
	Fukoksantin	0.73	0.22
	C2	0.20	0.08
N10Mi1	Klorofil- <i>a</i>	1.18	0.35
	Fukoksantin	1.09	0.26
	C2	0.34	0.08

Tablo 4.13. Yaz (20 metre) 2022 dönemi deney şişelerinde T0 zamanında ölçülen Klorofil-*a*, Fukoksantin ve C2 için istatistiksel özet.

Şişe	Pigmentler	Ortalama (μM)	Standart Sapma
K	Klorofil- <i>a</i>	0.77	0.09
	Peridin	0.33	0.09
	Fukoksantin	0.21	0.02
	C2	0.17	0.02
N1	Klorofil- <i>a</i>	0.81	0.08
	Peridin	0.35	0.03
	Fukoksantin	0.18	0.02
	C2	0.13	0.02
N10	Klorofil- <i>a</i>	0.76	0.06
	Peridin	0.42	0.04
	Fukoksantin	0.23	0.05
	C2	0.19	0.03
N1Mi1	Klorofil- <i>a</i>	0.85	0.13
	Peridin	0.41	0.05
	Fukoksantin	0.22	0.04
	C2	0.22	0.05
Ni10Mi1	Klorofil- <i>a</i>	0.79	0.08
	Peridin	0.39	0.04
	Fukoksantin	0.20	0.02
	C2	0.15	0.02

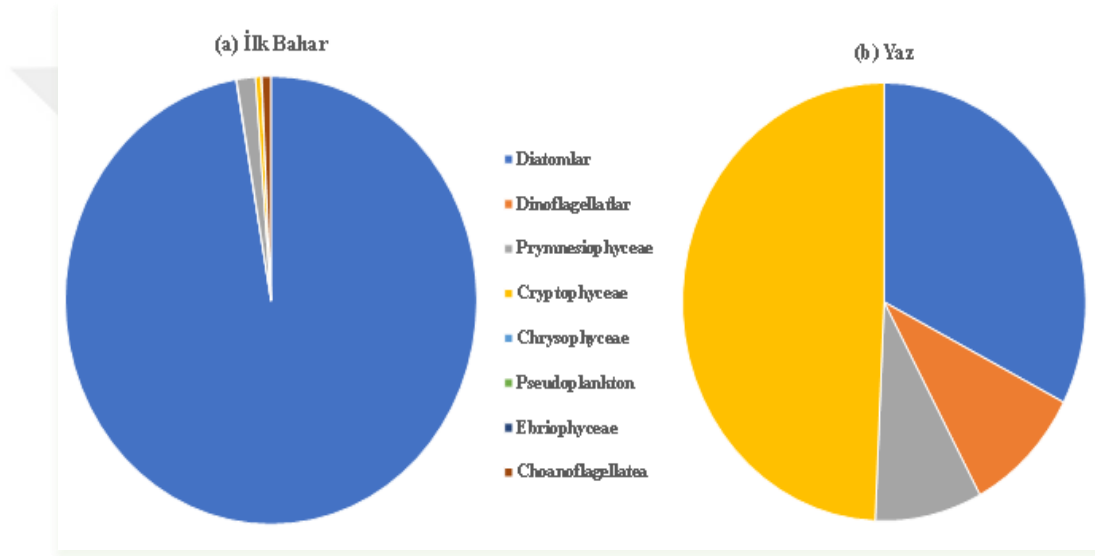
d) Hücre Sayıları ve Baskın Fitoplankton Türleri:

Yapılan çalışma için İlkbahar ve yaz 2022 dönemi deney şişelerindeki hücre sayıları Tablo 4.14'te sunulmuştur. Her iki dönem karşılaştırıldığında ilkbahar 2022 döneminde toplanan örneklerde hücre bolluğunun nerdeyse 30 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Klorofil-*a*, pigment, besin tuzu, amonyum değerlerine ve hücre bolluklarına dayanarak ilkbahar dönemindeki örneklemin fitoplankton patlaması (post bloom) sonrasına rastladığı düşünülmektedir. Yaz 2022 döneminde 20 metreden toplanan örneklerin makro besin tuz konsantrasyonları (fosfat hariç) çok yüksek olmasına karşın hücre sayıları 0.10 ile 0.15 milyon/L aralığında seyretmesi bu tabakada ışığın azlığına ya da fosfat ile ışığın beraber sınırlayıcılığına dayandırılabilir (Maldonado vd., 1999). Fitoplankton kompozisyonu ise iki dönem arasında büyük bir fark göstermektedir (Şekil 4.9). İlkbahar 2022 deney şişelerinde gözlenen hücre sayısının %97'sini Diatomlar oluştururken, Prymnesiophyceae ve Cryptophyceae %1'lik katkı yapmaktadır. Yaz 2022 dönemindeyse, Cryptophyceae baskın olup hücre sayısının %49'unu oluştururken Diatomlar %33'ünü oluşturmaktadır. Dinoflagellatlar ve Prymnesiophyceae'lar sırasıyla %10 ve %9 hücre sayılarına katkı yapmaktadır. Fitoplankton kompozisyonunun büyük bir çoğunluğunu Cryptophyceae oluşturmasına rağmen indikatörü olan alloksantin pigment konsantrasyonu 0.02 $\mu\text{g/L}$ 'den daha az ölçülmüştür. Tüm şişeler 12 °C ve karanlıkta transfer edilmişlerdir. Yapılan çalışmalar Fukoksantin pigmentinin 4 ile 25 °C arasında iki ay boyunca değerlerinde değişme olmadığı veya çok az değişim gösterdiği ortaya

koymuştur (Kawee-ai et., 2013). Alloksantin gibi karotenlerin, Klorofil-*a* ve Fukoksantin kıyasla konsantrasyonlarında önemli düşmeler olabileceği ortaya konmuştur (Ruess ve Conley, 2005). Gözlenen düşük alloksantin değerleri yukarıda bahsedilen bozulmaya bağlanabilir.

Tablo 4.14. İlkbahar ve Yaz dönemi deneylerinde gözlenen hücre sayıları.

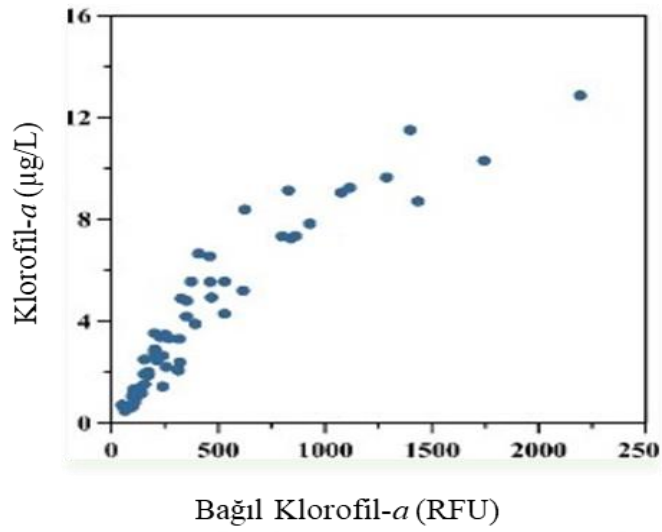
	İlkbahar	Yaz
Şişe	Hücre Sayısı milyon/L	Hücre Sayısı milyon/L
K	3.52±1.57	0.12
N1	4.00±1.4	0.10
N10	2.70±2.17	0.15
N1Mi1	3.87±1.75	0.12
N10Mi1	4.20±3.79	0.13



Şekil 4.9. İlkbahar ve yaz dönemi deney şişelerinde gözlenen fitoplankton kompozisyonu.

4.2.2. Mikrokozmm (Ekleme) Deneyi

Bağlı Klorofil-*a*: Bağlı Klorofil-*a* uygulama kolaylığı ve fitoplanktonların yoğunluğunun artıp artmadığı hakkında anlık bilgi sağlayan bir ölçümdür. Deneyler süresince ölçülen bağlı Klorofil-*a* sinyal değeri ile pigment ölçümlerinden elde edilen Klorofil-*a* her deney grubunun ortalamaları alındıktan sonra aralarındaki ilişkiye bakılmıştır (Şekil 4.10). Bağlı Klorofil-*a* sinyal değeri ve Klorofil-*a* arasında güçlü bir etkileşim katsayısı ($r = 0.92$) bulunmasına karşın aradaki ilişkiye daha detaylı bakıldığı zaman Bağlı Klorofil-*a* sinyal değerinin 500'ün üzerine çıktığında doğrusal artmadığı tespit edilebilir.



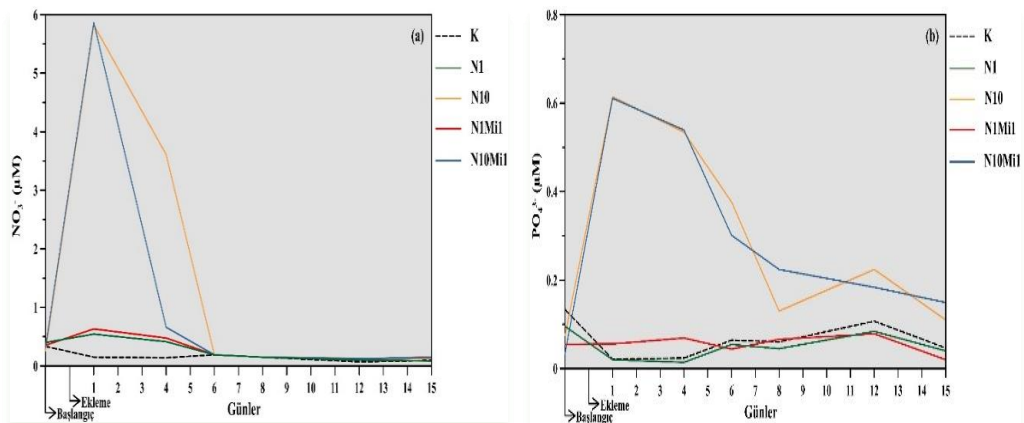
Şekil 4.10. Bağıl Klorofil-*a* ve pigment ölçümlerinin birbirleri arasındaki ilişki.

4.2.2.1 İlkbahar Dönemi

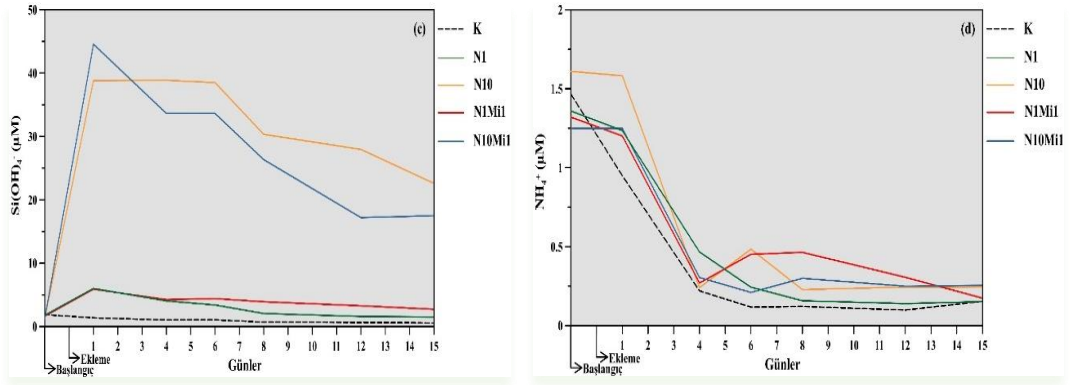
(a) Üretim ve Besin Tuzları:

Deney süresince şişelerde gözlenen makro besin tuzlarının (NO_3^- , PO_4^{3-} , $\text{Si}(\text{OH})_4^-$ ve NH_4^+) konsantrasyonlarındaki zamansal değişim Şekil 4.11'de, Klorofil-*a* ve Hücre Sayıları ise Şekil 4.12'de verilmiştir. Kontrol şişelerinde nitrat ve silikat için deneyin 15. gününe kadar belirgin bir fark gözlenmemiştir. Amonyak, azot besini olarak kullanıldığından belirgin bir düşüş sergilediği gözlemlenirken deneyin 6. dönünde $0.2 \mu\text{M}$ olan belirleme sınırının altına inmiştir. Fosfat ise deneyin dördüncü günü belirleme sınırı olan $0.02 \mu\text{M}$ seviyelerine inmiştir. Deney süresince Kontrol şişelerinde yaklaşık olarak $1.2 \mu\text{M}$ NH_4^+ ve $0.1 \mu\text{M}$ PO_4^{3-} tüketildiği hesaplanmıştır. Bu tüketime bağlı olarak Kontrol şişelerinde gözlenen Klorofil-*a* değerleri deneyin altıncı günü $3.4 \mu\text{g/L}$ 'ye ulaşmış ve deneyin sonuna kadar azalarak $1.4 \mu\text{g/L}$ 'ye kadar gerilemiştir (bkz. Şekil 4.12). Mikro besin tuzu eklemesi yapılan şişelerde fosfat ve silikatın asimilasyon trendinde belirgin bir fark gözlenmemiştir. Hem makro hem de makro/mikro besin eklemelerine, fitoplanktonların neredeyse PO_4^{3-} ve $\text{Si}(\text{OH})_4^-$ besin tuzlarına benzer tepkiyi verdiği belirlenmiştir (Şekil 4.11b, c). Bir başka ifadeyle Fe, Mn, Co, Zn, Cu ve Cd mikro besin tuzlarının fosfat ve silikat asimilasyonuna benzer tepki vermiş olabilir (Hutchins ve Bruland, 1998). Buna karşın, N10 ($10 \mu\text{M}$ Nitrat, $1 \mu\text{M}$ Fosfat ve $50 \mu\text{M}$ Silikat) eklenen şişelerde nitrat asimilasyonunun büyük bir fark gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.11a). Mikro besin tuzu eklenen şişelerdeki (N10Mi1) fitoplanktonların deneyin 4. gününde neredeyse eklenen tüm nitratı asimile ederek biyo-kütlesinde belirgin bir artış sağladığı gözlemlenmektedir. Bu örneklerde deneyin dördüncü günü Klorofil-*a* $7.82 \mu\text{g/L}$ değerine ulaşırken kontrol (K) ve sadece $10 \mu\text{M}$ nitrat 10 , $1 \mu\text{M}$ Fosfat ve $50 \mu\text{M}$ Silikat eklenen (N10) şişelere kıyasla sırasıyla

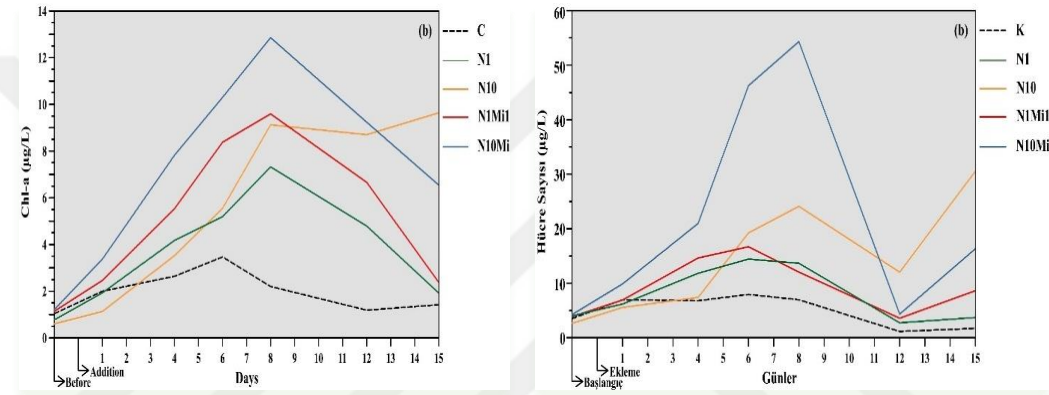
2.9 ve 2.2 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Deneyin 4. günü 10 μM nitrat, 1 μM Fosfat ve 50 μM Silikat eklenen deney şişelerinde 6 μM nitrat asimile edilmesine karşın Klorofil-*a* konsantrasyonu 3 $\mu\text{g/L}$ ile hafif bir artış göstermektedir. Aynı gün makro/mikro besin tuzu eklenen (N10Mi1) deney şişelerinde hücre sayısı 21 milyon/L'ye ulaştığı tespit edilirken kontrol (6.7 milyon/L) ve N10 (7.2 milyon/L) şişelerine kıyasla yaklaşık 3 kat yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Fitoplanktonların 4 gün gibi kısa bir sürede hızlı bir şekilde çoğalmaları mikro besin tuzlarının oksit halde bulunan nitratı indirgeyerek (NH_2 yapısı) porfirin yapabilmelerine bağlanabilir. Bu şekilde yapısında 4 adet pirol grubunun oluşturduğu Mg merkezli porfirin halkasından oluşan klorofil-*a* değerleri deneyin sekizinci gününe kadar artmıştır. N1 ve N10 şişelerindeki Klorofil-*a* değişimleri sırasıyla 7.3 ve 9.2 $\mu\text{g/L}$ 'ye ulaşırken N1Mi1 ve M10Mi1 şişelerinde Klorofil-*a* değerleri 9.6 ve 12.9 $\mu\text{g/L}$ 'ye kadar yükselmiştir. Bu değerler kontrol şişelerine kıyasla 3.3 ile 5.9 kat daha fazla bulunmuştur. Deneyin sekizinci gününde N10Mi1 (hem makro hem de mikro besin tuzu eklenen) örneklerinde hücre ve diatom sayıları sırasıyla 54.32 ve 54.14 milyon/L'ye kadar yükselirken kontrolden (6.9 milyon/L) yaklaşık 8 kat daha fazla gözlemlenmiştir. Denel'in 12. gününde fitoplankton sayılarında şiddetli bir düşüş olmuş ve deneyin son günü (15. gün) göreceli olarak tekrar artmıştır. Oysa hücre sayılarında 12. gün gözlenen şiddetli düşüşe rağmen Klorofil-*a* değerleri aynı oranda azalış göstermemiştir. Bunun başlıca nedeni, Siyanobakterilerin Klorofil-*a*'ya katkıları olabilir. Akış Sitometresi ile yapılan sayımlar bu düşüncüyü doğrular niteliktedir. Fitoplankton sayıları 12. Gün düşerken Siyanobakteri sayıları artış göstermektedir (Şekil 4.13). Örneğin N10Mi1 şişelerinde Siyanobakteri ve Proklorofit sırasıyla 70.6 ve 3.38 milyon/L ulaşırlarken N10 şişelerinde bu sayılar 35.9 ve 2.02 milyon/L olarak tespit edilmiştir. Pikofitoplanktonlarda belirgin artış belirlenmemiştir.



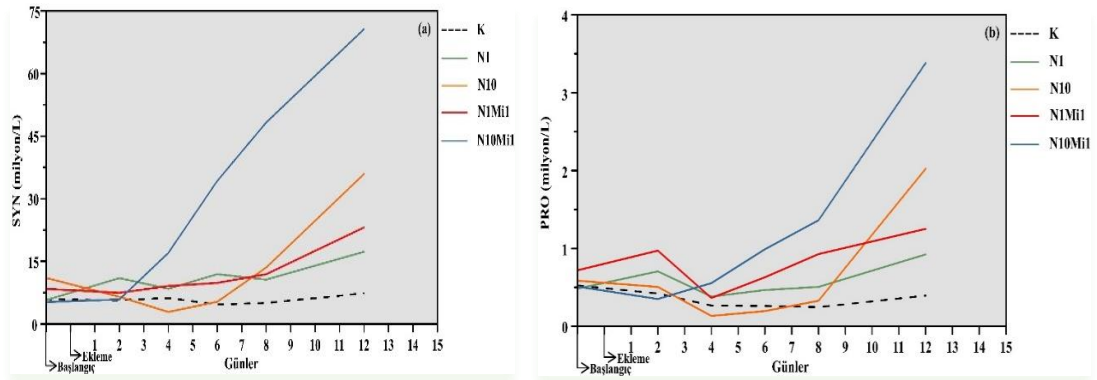
Şekil 4.11. İlkbahar dönemi deney şişelerinde zamana bağlı değişim. (a) NO_3^- , (b) PO_4^{3-} , (c) Si(OH)_4^- ve (d) NH_4^+ .



Şekil 4.11.(Devamı). İlkbahar dönemi deney şişelerinde zamana bağlı değişim. (a) NO_3^- , (b) PO_4^{3-} , (c) Si(OH)_4^- ve (d) NH_4^+ .



Şekil 4.12. İlkbahar dönemi deney şişelerinde zamana bağlı Klorofil-a (a) ve Hücre Sayıları (b) değişimi.



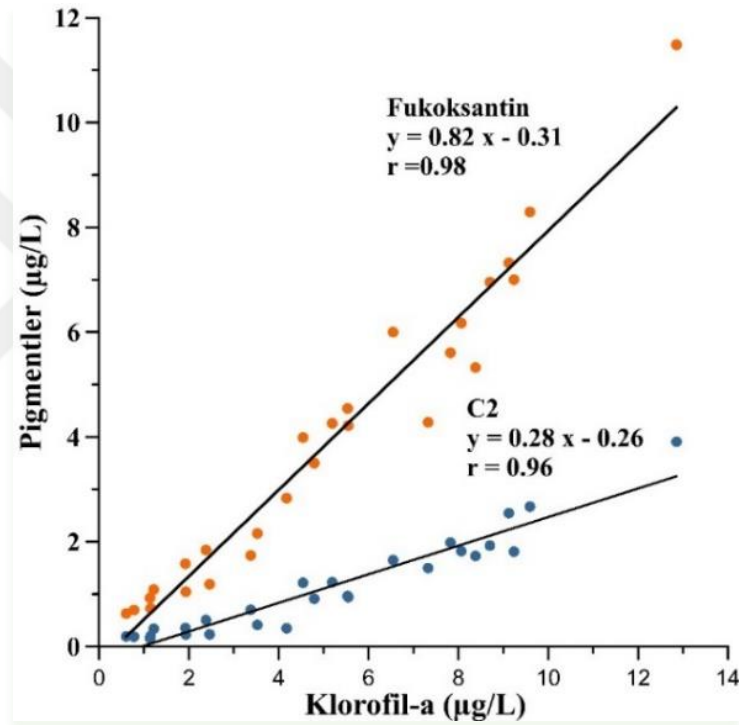
Şekil 4.13. İlkbahar dönemi deney şişelerinde zamana bağlı Siyanobakteri (a) ve Proklorofit (b) sayılarının değişimi. SYN: Siyanobakteri PRO: Proklorofit.

(b) Pigment ve Fitoplankton Kompozisyonu

İlkbahar döneminde tespit edilen fitoplankton türleri Tablo 4.15’de sunulmuştur. Deney şişelerinde Klorofil-a ile birlikte Fukoksantin ve C2 pigmentlerinin birlikte arttıkları belirlenmiştir. Fukoksantin ve C2 pigmentleri ile Klorofil-a arasındaki ilişki Şekil 4.14’te

gösterilmiştir. Her iki pigmentte Klorofil-*a* ile güçlü bir etkileşim göstermektedir ($r \geq 0.96$). Fukoksantin ve C2 pigmentleri diatomların belirtecisi olarak kullanılmaktadır (Eker-Develi vd., 2022; Konucu vd., 2022). Başlangıç esnasında tespit edilen diatom türlerinin dağılımı Şekil 4.15'te sunulmuştur. Başlangıç anında fitoplankton kompozisyonu diatomların (%95) hâkimiyeti altındayken özellikle kozmopolit bir tür olan *Skeletonema costatum*'un %94.92 ile birincil katkı yaparak rol oynamaktadır. *Nitzschia longissima* ve *Chaetoceros gracilis* sırasıyla %2.2 ve %1.7 katkı yaparken diğer diatom türlerinin tümü kompozisyonun %1.06'sını açıklamaktadır.

Kontrol şişelerinde *Skeletonema costatum* katkısı deneyin ilk 12 gününde %84'e kadar iken deneyin son gününde %35'e gerilemiştir.



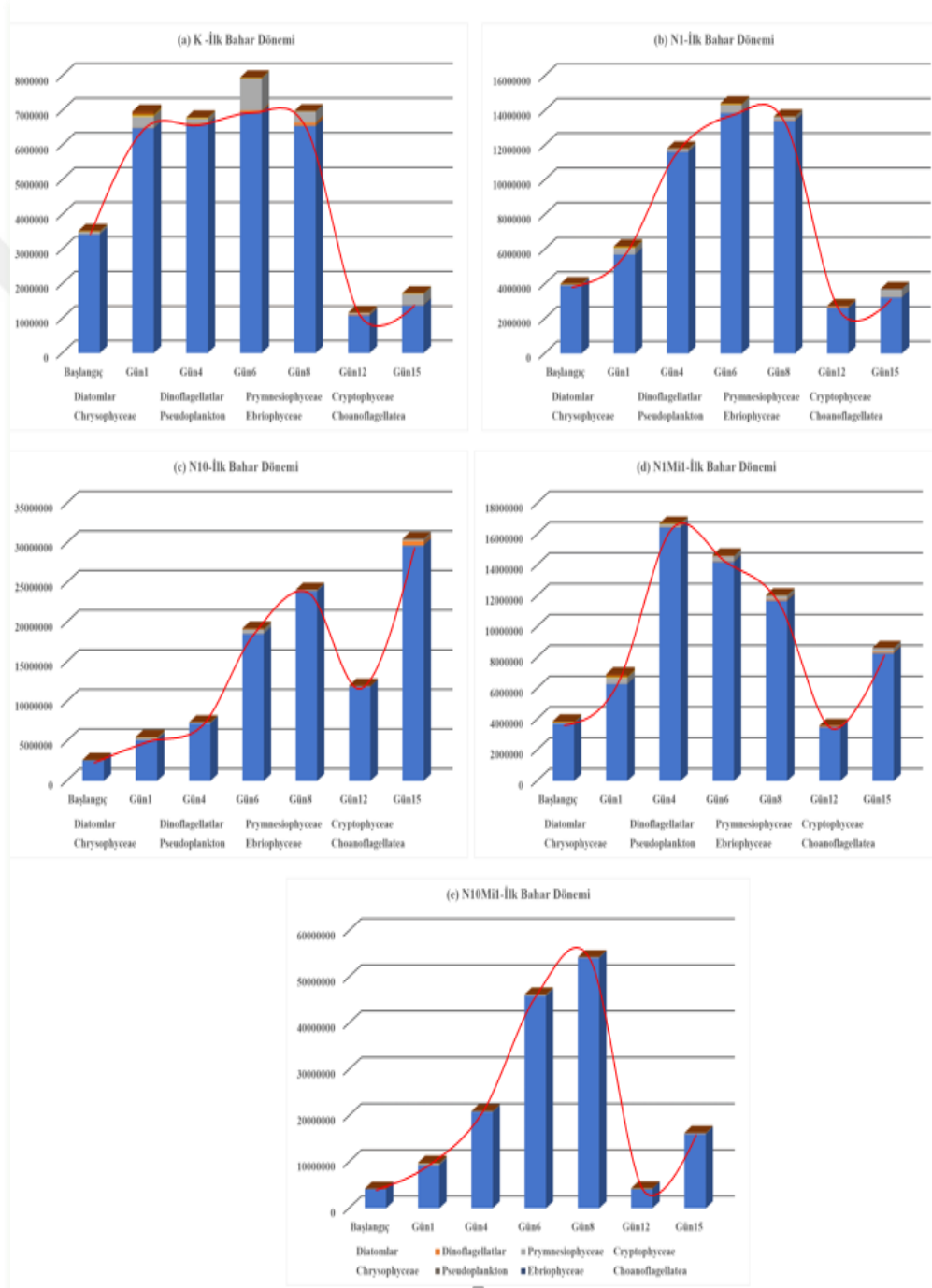
Şekil 4.14. İlkbahar döneminde Klorofil-*a*'nın Fukoksantin ve C2 pigmentleriyle etkileşimi.

Tablo 4.15. İlkbahar 2022 dönemi Mikrokozmm deneyi T0 zamanı fitoplankton türleri.

Bacillariophyta (Diyatomlar)	Bacillariophyta (Diyatomlar)	<i>Ceratium fusus var. seta</i>	Pyrrophyta (Dinoflagellatlar)
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	<i>Nitzschia sp.</i>	<i>Ceratium kofoidii</i>	<i>Prorocentrum micans</i>
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Nitzschia tenuirostris</i>	<i>Cladopyxis caryophyllum</i>	<i>Prorocentrum minimum</i>
<i>Chaetoceroa concavicornis</i>	<i>Paralia sp</i>	<i>Dinophysis fortii</i>	<i>Prorocentrum minisculum</i>
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	<i>Pleurosigma sp</i>	<i>Gonyaulax sp</i>	<i>Prorocentrum sp.</i>
<i>Chaetoceros danicus</i>	<i>Proboscia alata forma gracillima</i>	<i>Gymnodinium sp.</i>	<i>Protoperidinium bipes</i>
<i>Chaetoceros decipiens</i>	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	<i>Gyrodinium fusiforme</i>	<i>Pyrophacus horologium</i>
<i>Chaetoceros gracilis</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	<i>Gyrodinium lachryma</i>	<i>Scrippsiella trochoidea</i>
<i>Chaetoceros sp.</i>	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	<i>Gyrodinium sp.</i>	<i>Torodinium teredo</i>
<i>Chaetoceros subtilis</i>	<i>Rhizosolenia robusta</i>	<i>Heterocapsa sp.</i>	Prymnesiophyceae
<i>Coscinodiscus excentricus</i>	<i>Rhizosolenia setigera</i>	<i>Kofoadinium velleloides</i>	<i>Distephanus speculum var octonarius</i>
<i>Coscinodiscus granii</i>	<i>Rhizosolenia styliformis</i>	<i>Micracanthodinium setiferum</i>	<i>Emiliana huxleyi</i>
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Noctiluca scintillans</i>	Cryptophyceae
<i>Dactyliosolen sp</i>	<i>Striatella unipunctata</i>	<i>Oxytoxum adriaticum</i>	<i>Hillea fusiformis</i>
<i>Ditylum brightwellii</i>	<i>Synedra ulna</i>	<i>Oxytoxum crassum</i>	Chrysophyceae
<i>Eucampia cornuta</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Oxytoxum globosum</i>	<i>Dinobryon sp.</i>
<i>Guinardia flaccida</i>	<i>Thalassiosira decipiens</i>	<i>Oxytoxum sp.</i>	Pseudoplankton
<i>Gyrosigma sp</i>	<i>Thalassiosira polychorda</i>	<i>Oxytoxum viride</i>	<i>Gymnes bisac pollen</i>
<i>Lauderia annulata</i>	<i>Thalassiosira rotula</i>	<i>Peridinium depressum</i>	Ebriophyceae
<i>Leptocylindrus danicus</i>	<i>Thalassiosira sp</i>	<i>Peridinium divergens</i>	<i>Ebria tripartita</i>
<i>Leptocylindrus minimus</i>	<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	<i>Peridinium mediterraneum</i>	<i>Hermesinum adriaticum</i>
<i>Licmophora sp.</i>	Pyrrophyta (Dinoflagellatlar)	<i>Peridinium sp</i>	Choanoflagellatea
<i>Melosira sp</i>	<i>Alexandrium sp</i>	<i>Peridinium steinii</i>	<i>Diaphanoeca grandis</i>
<i>Nitzschia longissima</i>	<i>Ceratium furca furca</i>	<i>Prorocentrum compressum</i>	

Deney süresince diatomlar baskın grup olmuştur (Şekil 4.15). Kontrol şişelerinde Prymnesiophyceae ve Dinoflagellatların ortalama hücre sayılarına katkısı sırasıyla %7.7 ve %0.9 tespit edilmiştir. Prymnesiophyceae küçükten büyüğe N1: %3,9, N1Mi1: %2,4, N10: %1,7 ve N10Mi1: %1.3 deney şişelerinde katkıları azalma gösterirken Dinoflagellat katkıları % 0.4 ile % 0.6 değişim göstermiştir. Makro ve mikro besin tuzlarının konsantrasyonları arttıkça Prymnesiophyceae'nın % katkılarının azalması, diatomların (özellikle *Skeletonema costatum*) bu koşullar altında üstün geldiklerine işaret etmektedir. Benzer bir çalışmada (Wang vd. 2012) besin tuzu konsantrasyonunun artışı ile *Skeletonema costatum*' un büyüme hızı, sıcaklık değişimine yüksek toleransı, substrata bağlanma yatkınlığının yanısıra türler arası topaklanma (Kiørboe ve Hansen, 1993; Hansen vd., 1995) gibi özellikleri ile diğerlerine karşı üstünlük kurabildiklerini görmüşlerdir.

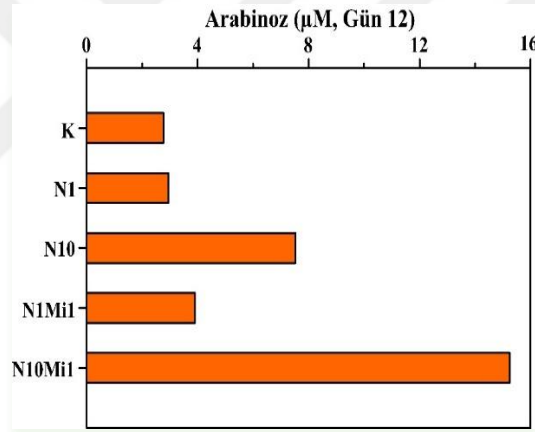
Başlangıç hücre sayılarının çok olduğu ilkbahar dönemi örnekleri ile yapılan mikrozozm çalışmasında kontrol örneklerinde 2. gün diatom popülasyonun dengeye ulaştığı 8. Günden sonra azaldığı görülmektedir. Diğer örneklerde birey sayılarının eklenen mikro ve makro besin tuzuna göre değişkenlik gösterdiği, en büyük değişimin N10Mi deney örneklerinde gözlemlendiği ve genel olarak 8. Günden sonra birey sayılarında çok büyük azalmalar gerçekleştiği görülmektedir (minimumlar yasası) (şekil 4.15).



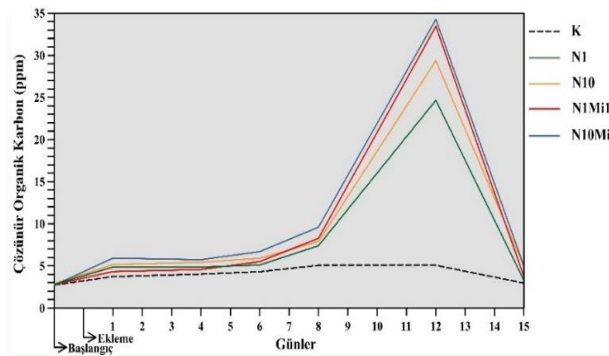
Şekil 4.15. İlkbahar dönemi deneylerinde fitoplankton kompozisyonu. (a) Kontrol, (b) N1, (c) N10, (d) N1Mi1 ve (e) N10Mi1. Birimler milyon/L cinsinden belirtilmiştir.

(c) Monosakkarit Konsantrasyonları

Monosakkarit konsantrasyonları makro ve mikro deney şişelerinde genellikle belirleme sınırının altında kalmıştır. Bu da fitoplanktonların şiddetli bir zooplankton otlanmasına tabi olmadığını ve hücrelerin parçalanarak içlerinde bulunan poli-sakkaritlerin sıvı faza geçmediğine işaret etmektedir. Ancak, deneyin sonuna doğru hücre sayıları azalırken, Arabinoz konsantrasyonlarının belirleme sınırlarının üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Deneyin 12. günü hücre sayıları dramatik bir şekilde azalırken hücre kırılması, enfeksiyon ve zooplankton otlanması olabileceğine işaret etmektedir. Arabinoz değerleri özellikle N10Mi1 ve N10 şişelerinde kontrole kıyasla 5.5 ve 2.7 kat artarak sırasıyla 15.2 ve 7.5 μM seviyelerine ulaşmıştır (Şekil 4.16). Diğer yandan, ölçülen ‘Çözünür Organik Karbon’ konsantrasyonları bu gözlemi destekler niteliktedir (Şekil 4.17). Kontrol hariç tüm deney şişelerin ‘Sekizinci’ gün çözünür organik karbon 5 ile 10 ppm seviyelerine ulaşmış ‘On ikinci’ gün ise 20 ile 35 ppm seviyelerine kadar tırmandığı tespit edilmiştir. Deneyin son günü (15. Gün) başlangıç değerlerine kadar gerilemiştir.



Şekil 4.16. İlkbahar dönemi deney şişelerinde 12. gün belirlenen Arabinoz konsantrasyonları.



Şekil 4.17. İlkbahar dönemi deney şişelerinde ölçülen Çözünür Organik Karbon konsantrasyonları.

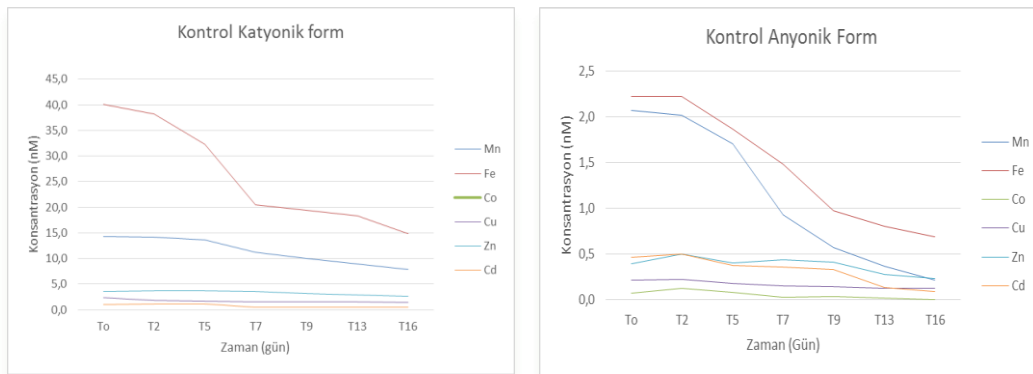
(d) Mikro Besin Tuzları

Katyonik ve anyonik mikro besin tuzları arasındaki ilişki Tablo 4.16’da verilmiştir. İlkbahar döneminde mikro besin tuzlarının aralarında genellikle güçlü etkileşim katsayıları gözlemlenmiştir. Bu güçlü etkileşim katsayıları, mikro besin tuzlarının katyonik formlarının ilkbahar döneminde fitoplanktonlarca benzer bir şekilde asimile edildiğine işaret etmektedir. Anyonik formlar arasındaki ilişkiye bakıldığında zaman Cd mikro besin tuzunun tüm diğer anyonik formlarla ters bir etkileşim sergilediği gözlemlenirken Cd’nin farklı bir şekilde organik türleşme göstermektedir.

Tablo 4.16. İlkbahar dönemi deneylerinde mikro besin tuzları arasındaki etkileşim katsayıları. K: Katyonik ve A: Anyonik

	Mn-K	Fe-K	Co-K	Cu-C	Zn-K	Cd-K
Mn-K	1.00					
Fe-K	1.00	1.00				
Co-K	0.99	0.99	1.00			
Cu-K	0.90	0.91	0.86	1.00		
Zn-K	0.91	0.92	0.93	0.74	1.00	
Cd-K	0.79	0.76	0.82	0.56	0.73	1.00
	Mn-A	Fe-A	Co-A	Cu-A	Zn-A	Cd-A
Mn-A	1.00					
Fe-A	0.97	1.00				
Co-A	0.99	0.99	1.00			
Cu-A	0.77	0.85	0.81	1.00		
Zn-A	0.88	0.90	0.91	0.69	1.00	
Cd-A	-0.55	-0.39	-0.41	-0.36	-0.23	1.00

Ekleme deneyi çalışmalarının Kontrol örneklerinin katyonik formlarının başlangıç (T0) konsantrasyonları Mangan 14.3 nM, Demir 39 nM, Kobalt 0.7 nM, Bakır 2.4 nM, Çinko 3.6 nM ve Kadmiyum 1.0 nM, anyonik formlarının ise Mangan 2.1 nM, Demir 2.2 nM, Kobalt 0.1 nM, Bakır 0.2 nM, Çinko 0.4 nM ve Kadmiyum 0.5 nM seviyelerinde ölçülmüştür. Kontrol örneklerinde mikro besin tuzlarının (katyonik ve anyonik formlar) zamansal değişimi Şekil 4.18’de verilmiştir.

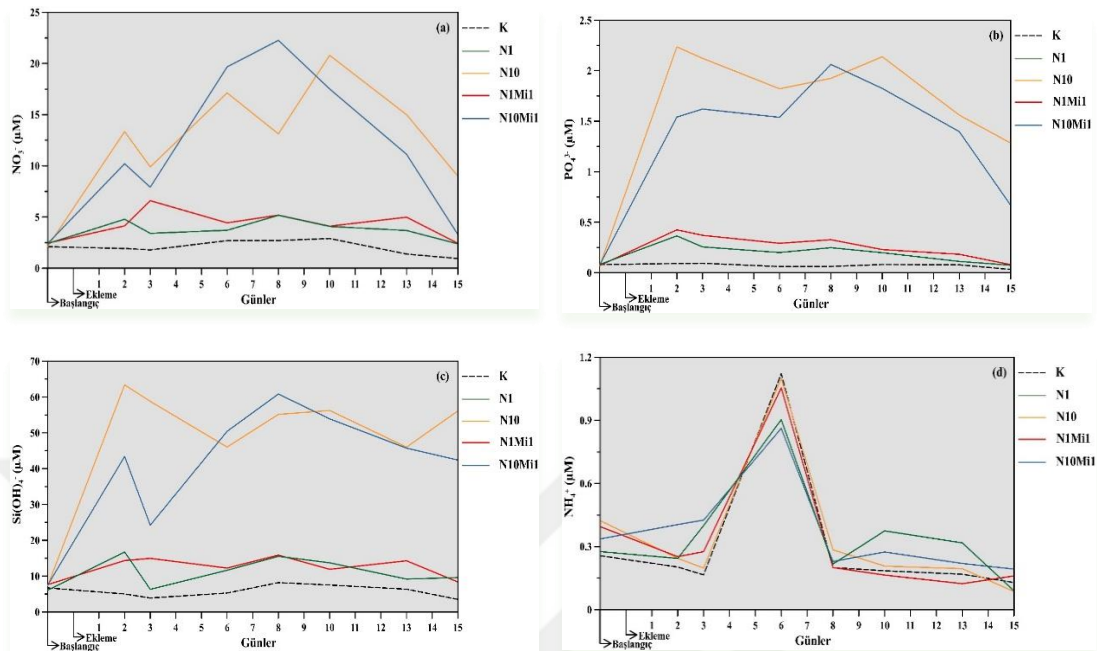


Şekil 4.18. İlkbahar dönemi kontrol örneklerinde mikro besin tuzlarının (katyonik ve anyonik formlar) konsantrasyonlarının zamansal değişimi (nM).

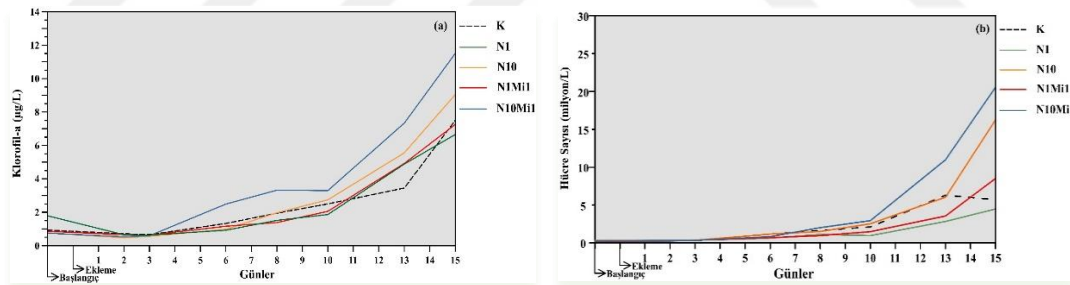
4.2.2.2 Yaz Dönemi

(a) Üretim ve Besin Tuzları: Yaz dönemi mikrokozmden deneyi süresince şişelerde gözlenen makro besin tuzlarının (NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4^- ve NH_4^+) zamana karşı konsantrasyonlarındaki değişimi Şekil 4.19, Klorofil-*a* ve Hücre Sayılarındaki zamansal değişim Şekil 4.20’de gösterilmektedir. Şekil 4.18’den anlaşılabileceği üzere yaz dönemi besin tuz konsantrasyonları zamana karşı ilkbahara kıyasla farklılıklar göstermektedir. İlkbaharda makro besin tuzları (nitrat ve fosfat) fitoplanktonlarca tamamen tüketilirken yaz dönemi mikrokozmden deneylerinde bu makro besin tuzları tamamen tüketilememektedir. Ortamda yeterli miktarda besin tuzu olmasına rağmen başlangıç zamanındaki toplam hücre sayılarının (yaklaşık 0.1 milyon/L) az olması bu durumun başlıca nedeni sayılabilir. Nitrat N10 ve N10Mi1 şişelerinde 15. gün sırasıyla 9 μM ve 3 μM dolaylarında belirlenirken karşılık gelen fosfat konsantrasyonları 1.3 μM ve 0.7 μM belirlenmiştir. Nitrat N1 ve N1Mi1 şişelerinde 15. gün 2.4 μM dolaylarında belirlenirken fosfat konsantrasyonları yaklaşık 0.1 μM belirlenmiştir. Bu deney şişelerinde tüm fosfatın tüketildiği var sayılırsa geriye 0.8 μM nitrat kaldığı hesaplanmıştır. NH_4^+ ise tüm deney şişelerinde 6. gün ani bir artış göstererek yaklaşık 1 μM seviyelerine kadar çıkmıştır. Zararlı alg patlamaları üzerine yapılan çalışmalarda zamansal olarak oksijenin azalmasına karşın ortamdaki amonyak değerlerinde artış görülmüştür (Wang vd. 2021). Bu durum viral ölüm, fekal pellet, tekrar üretim ve bakterilerce salgılanan organik madde kaynaklı olabilir. Benzer dalgalanmalar NO_3^- , PO_4^{3-} , Si(OH)_4^- makro besin tuzları için de gözlenmiştir (tekrar mineralleşme). Diğer yandan, makro besin tuzları deneyinin ilk 3 gününde makro besin tuzları fitoplanktonlarca tüketilmesine rağmen Klorofil-*a* değerlerinin başlangıç değerlerinin bir miktar altına düştüğü tespit edilmiştir. Klorofil-*a* dikkate alındığında, N1 (sadece makro besin tuzu) ve N1Mi1 (mark/mikro besin tuzu) mikrokozmden şişelerinin kontrol şişelerine benzer bir trend sergiledikleri ve herhangi bir fark sergilemedikleri gözlemlenmiştir. N10Mi1 (mark/mikro besin tuzu) deney şişeleri 3. ile 10. günler arasında ortalama Klorofil-*a* 3.3 $\mu\text{g/L}$ gözlenirken N10 (sadece makro besin tuzu, 1.9 $\mu\text{g/L}$) kontrole kıyasla (1.6 $\mu\text{g/L}$) neredeyse 2 kat yüksek gözlemlenmiş ancak İlkbahar döneminde ölçülen Klorofil-*a* değerlerinin oldukça altında kalmıştır. Tüm deney şişelerinde hücre sayıları deneyin ilk 10 gününde az bir eğimle artış eğilimi göstermiştir. N10Mi1 (mark/mikro besin tuzu) deney şişelerinde hücre sayıları 1.5 milyon/L kadar ulaşırken kontrolden 1.5 kat daha yüksek belirlenmiştir. İlk on günde gözlenen hücre sayıları ilkbahar dönemi deney başlangıç değerlerinin bile ancak yarısına ulaşabilmiştir. Deneyin 13. ve 15. gününde N10Mi1 (mark/mikro besin tuzu) deney şişelerinde Klorofil-*a* 7.3 $\mu\text{g/L}$ ve 11.5 $\mu\text{g/L}$ değerlerine ulaşırken kontrole kıyasla (3.5 $\mu\text{g/L}$ ve 4.8 $\mu\text{g/L}$) yaklaşık 2 kat daha fazla belirlenmiştir. Aynı günler için hücre sayıları 5.5 milyon/L ve 10.2 milyon/L tırmanırken kontrol değerlerinden 2 ile 3 kat daha çok tespit edilmiştir. N10 (sadece

makro besin tuzu) şişelerinde 13. ve 15. gün Klorofil-*a* değerleri sırasıyla 5.5 µg/L ve 9.0 µg/L çıkarken hücre sayıları 3.0 milyon/L ve 8.1 milyon/L'ye kadar yükselmiştir.



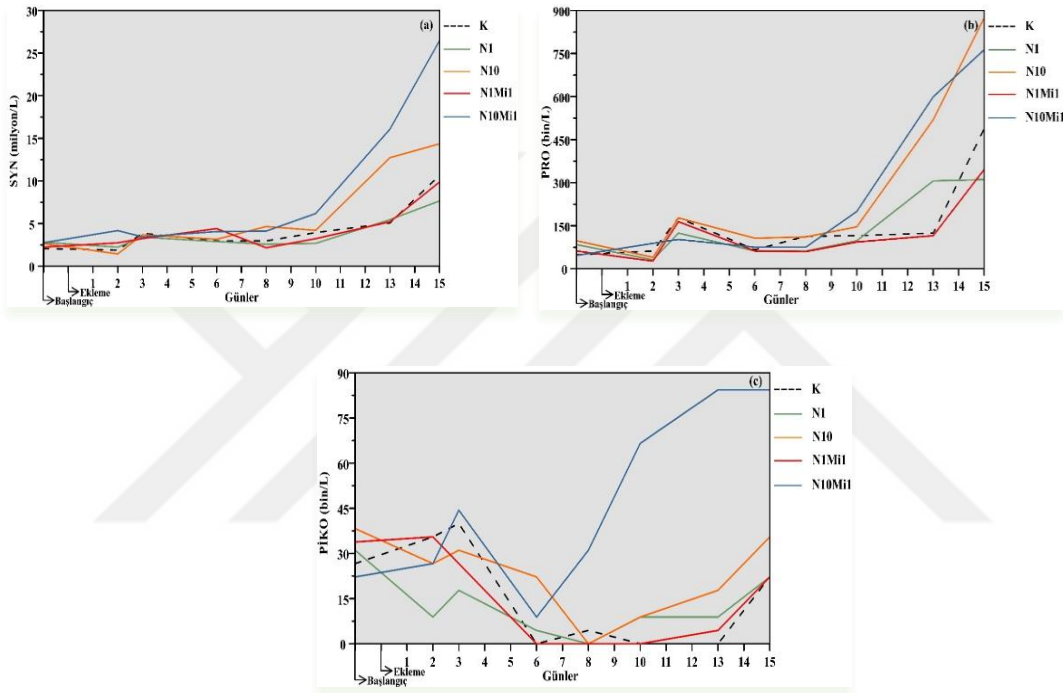
Şekil 4.19. Yaz dönemi deney şişelerinde zamana bağlı değişim. (a) NO_3^- , (b) PO_4^{3-} , (c) Si(OH)_4^- ve (d) NH_4^+ .



Şekil 4.20. Yaz dönemi deney şişelerinde zamana bağlı Klorofil-*a* (a) ve Hücre Sayıları (b) değişimi.

Yaz döneminde gerçekleştirilen mikrokozmlar şişelerinde tespit edilen Siyanobakteri, Proklorofit ve Pikofitoplankton hücre sayıları Şekil 4.21’de sunulmuştur. Sonuçlar aynı bölgede yapılan çalışmalarla (Balkıs vd. 2011) benzerlik göstermektedir. Siyanobakteri, Proklorofit ve Pikofitoplankton hücre sayıları göz önüne alındığında, N1 (sadece makro besin tuzu) ve N1Mi1 (mark/mikro besin tuzu) deney şişelerinin kontrol şişelerine benzer bir eğilim gösterdikleri ve kıyaslanabilir oldukları belirlenmiştir. N10Mi1 (mark/mikro besin tuzu) ve N10 (sadece makro besin tuzu) deney şişelerinde Siyanobakteri ve Proklorofit sayıları ilk on gün neredeyse sabit kalırken, onuncu günden başlayarak artışlar göstermişlerdir. Deneyin son günü N10Mi1 (mark/mikro besin tuzu) mikrokozmlar şişelerinde Siyanobakteri ve Proklorofit sayıları sırasıyla

26.4 milyon/L ve 763 bin/L 'ye ulaşırken N10 (sadece makro besin tuzu) Siyanobakteri ve Proklorofit bollukları 14.4 milyon/L ve 874 bin/L kadar çıkmıştır. Benzer çalışmada Akdeniz' de CYCLOPS projesi kapsamında yapılan ekleme deneylerinde de siyanobakterileri sayılarında dramatik artışlar görülmüştür (Herut vd. 2005). Diğer yandan, Pikofitoplanktonların, N10Mi1 hariç, pek bir katkı yapmadıkları görülmüştür. Pikofitoplanktonlar deneyin 6. gününden itibaren hızlı bir şekilde artarak deneyin son günü N10Mi1 şişelerinde 84 bin/L sayılarına kadar tırmanmıştır. Bolluklar dikkate alındığında, Siyanobakteri'lerin ve Proklorofit'lerin gözlenen Klorofil-*a*'ya katkı verdiği söylenebilir.



Şekil 4.21. Yaz dönemi deney şişelerinde zamana bağlı Siyanobakteri (a), Proklorofit (b) ve Pikofitoplankton (c) sayılarının değişimi.

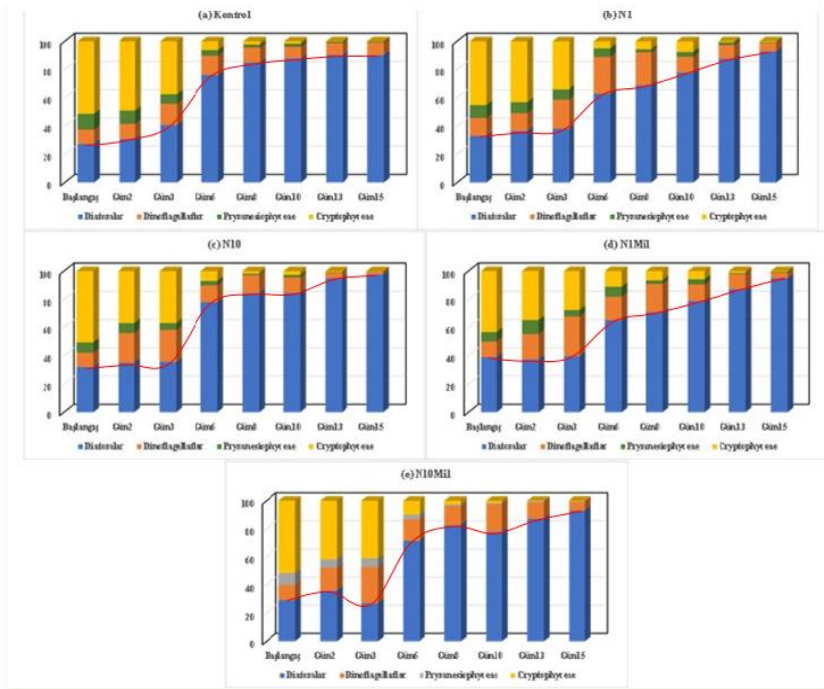
SYN: Siyanobakteri, PRO: Pro klorofit ve PIKO: Pikofitoplankton.

(b) Pigment ve Fitoplankton Kompozisyonu

Yaz dönemi mikroközm deney şişelerinde belirlenen fitoplankton türleri Tablo 4.17'de gösterilmektedir. Yaz döneminde Klorofil-*a* ve belirlenen pigment ilişkileri ilkbahar dönemine nazaran büyük bir fark göstermiştir. Tüm deney şişeleri dikkate alındığında Klorofil-*a* ile Siyanobakterilerin belirteci olan Zeaksantin güçlü etkileşim katsayıları gösterdiği belirlenirken ($r > 0.88$) birincil üretime katkı yaptıkları düşüncesini desteklemektedir. Diğer yandan, deneyin 13. ve 15. günü Proklorofit belirteci olan Divinil-*a* pigmenti HPLC cihazının belirleme sınırlarının üzerine çıkarak 0.01 ile 0.05 $\mu\text{g/L}$ değerleri arasında tespit edilebilmiştir. Prymnesiophyceae'ların belirteci olan Heks-fucoksantin Klorofil-*a* ile güçlü etkileşim katsayısı göstermiş ($r = 0.70$) fitoplankton üretimine katkısına işaret etmektedir. Dinoflagellatların belirteci olan Peridin güçlü etkileşim katsayıları göstermese de tüm deney şişelerinde

ölçülebilmektedir. İlkbahar dönemine benzer bir şekilde, Fukoksantin ve C2, Klorofil-*a* ile güçlü etkileşim katsayıları ($r = 0.88$) sergileyerek birincil üretime yaz döneminde de katkı göstermiştir. Her bir deney seti için fitoplankton kompozisyonu yüzde katkıları cinsinden Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Tüm deney şişelerinde Cryptophyceae katkıları dramatik bir şekilde azalma göstermiştir. Deneyin başında %48 katkı yapan bu tür yaklaşık 60 bin/L sayısından birkaç bin/L rakamlarına kadar gerileyerek nerdeyse %0.5 katkılara kadar gerilemiştir. Prymnesiophyceae’lar da benzer bir eğilim sergilemişler ve başlangıçta %8-10’luk olan katkıları deney sonunda %1’in altına inmiştir. Bu fitoplanktonların deney şişelerinde viral ölümler, zooplankton otlanması vb. nedenlerden hücrelerinin parçalanmış olabileceği düşünülebilir (Boyd vd. 2012). Dinoflegellatlar ise deney şişelerinde Peridin pigmenti gibi hep gözlemlenmiştir. Fitoplankton kompozisyonuna katkıları zamana bağlı olarak %10 ile %15 arasında değişkenlik göstermiştir. Diatomların, özellikle *Skeletonema costatum* deney başlangıcında %0.4 olan katkıları %90’ların üzerine çıkmıştır, besin tuzları ve ışık yeter koşullarda çok hızlı çoğalabildiklerini ve bu döngülerini tamamlayana kadar diğer fitoplanktonların baskın tür olmasına pek olanak tanımadıkları görülür.

Başlangıçta Cryptophyceae’ların dominant olduğu yaz dönemi örnekleri ile yapılan mikrokozmoz deneyinde kontrol örneklerinin popülasyonlarının 8. Günde taşıma kapasitesine ulaştığı, mikro ve makro besin tuzu eklenen diğer örneklerin ise 15. Güne kadar çoğalmaya devam ettikleri görülmüştür. Ortamdaki hücre sayısının az besin miktarının fazla olması popülasyonun taşıma kapasitesine ulaşma zamanını ötelemiştir (şekil 4.22).



Şekil 4.22. Yaz dönemi deneyleri için fitoplankton katkıları (yüzde olarak ifade edilmiştir. (a) K, (b)N1, (c) N1, (d) N1Mi1 ve (e) N10Mi1.

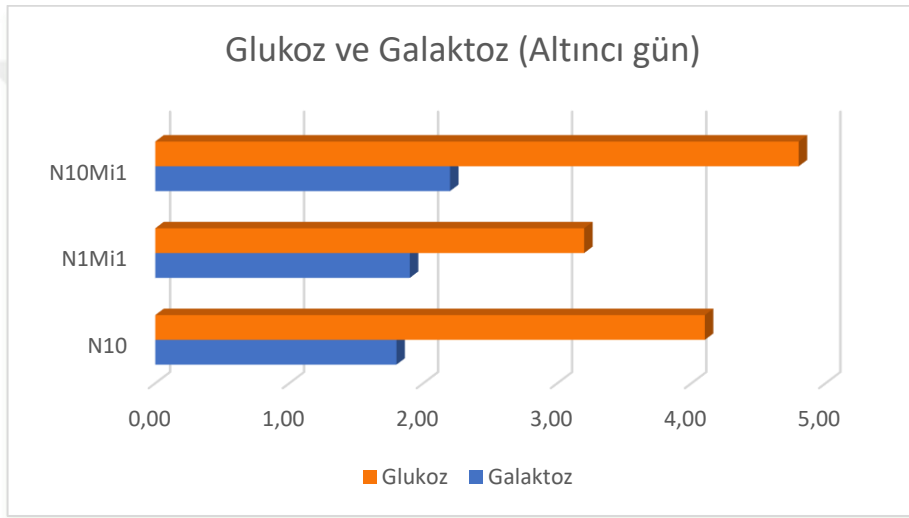
Tablo 4.17. Yaz 2022 dönemi Mikrokozmm deneyi T0 zamanı fitoplankton türleri.

Bacillariophyta (Diyatomlar)	<i>Nitzschia tenuirostris</i>	<i>Ceratium tripos pulchellum</i>	<i>Peridinium depressum</i>
<i>Amphora sp.</i>	<i>Planktoniella sol</i>	<i>Ceratoperidinium yeye</i>	<i>Peridinium mite</i>
<i>Cerataulina pelagica</i>	<i>Pleurosigma sp</i>	<i>Dinophysis acuta</i>	<i>Peridinium sp</i>
<i>Chaetoceros decipiens</i>	<i>Proboscia alata</i>	<i>Dinophysis fortii</i>	<i>Podolampas palmipes</i>
<i>Chaetoceros diversus</i>	<i>Proboscia alata forma gracillima</i>	<i>Dinophysis odiosa</i>	<i>Pronoctiluca pelagica</i>
<i>Chaetoceros gracilis</i>	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	<i>Dinophysis pusilla</i>	<i>Prorocentrum compressum</i>
<i>Chaetoceros subtilis</i>	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	<i>Dinophysis rotundata</i>	<i>Prorocentrum micans</i>
<i>Coscinodiscus excentricus</i>	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	<i>Dinophysis sacculus</i>	<i>Prorocentrum minimum</i>
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	<i>Rhizosolenia robusta</i>	<i>Gymnodinium heterostriatum</i>	<i>Protoperidinium bipes</i>
<i>Dactyliosolen mediterraneus</i>	<i>Rhizosolenia setigera</i>	<i>Gymnodinium sp.</i>	<i>Pyrophacus horologium</i>
<i>Dactyliosolen sp</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Gyrodinium fusiforme</i>	<i>Scrippsiella trochoidea</i>
<i>Ditylum brightwellii</i>	<i>Thalassiosira polychorda</i>	<i>Gyrodinium sp.</i>	<i>Torodinium teredo</i>
<i>Guinardia flaccida</i>	<i>Thalassiosira sp</i>	<i>Gyrodinium spirale</i>	Prymnesiophyceae
<i>Lauderia annulata</i>	<i>Tropidoneis sp</i>	<i>Heterocapsa sp.</i>	<i>Distephanus speculum var octonarius</i>
<i>Leptocylindrus danicus</i>	Pyrrophyta (Dinoflagellatlar)	<i>Kofoidinium velleoides</i>	<i>Emiliana huxleyi</i>
<i>Leptocylindrus minimus</i>	<i>Amphidinium sp</i>	<i>Micracanthodinium setiferum</i>	<i>Rhabdosphaera tignifer</i>
<i>Licmophora sp</i>	<i>Ceratium declinatum declinatum</i>	<i>Oxytoxum adriaticum</i>	Ebriophyceae
<i>Nitzschia longissima</i>	<i>Ceratium furca furca</i>	<i>Oxytoxum crassum</i>	<i>Ebria tripartita</i>
<i>Nitzschia reversa</i>	<i>Ceratium fusus var. seta</i>	<i>Oxytoxum sp.</i>	Cryptophyceae
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	<i>Ceratium horridum horridum</i>	<i>Oxytoxum tenuistriatum</i>	<i>Hillea fusiformis</i>
<i>Nitzschia sp.</i>	<i>Ceratium tripos</i>	<i>Oxytoxum viride</i>	Choanoflagellatea
			Tanımlanamayan tür

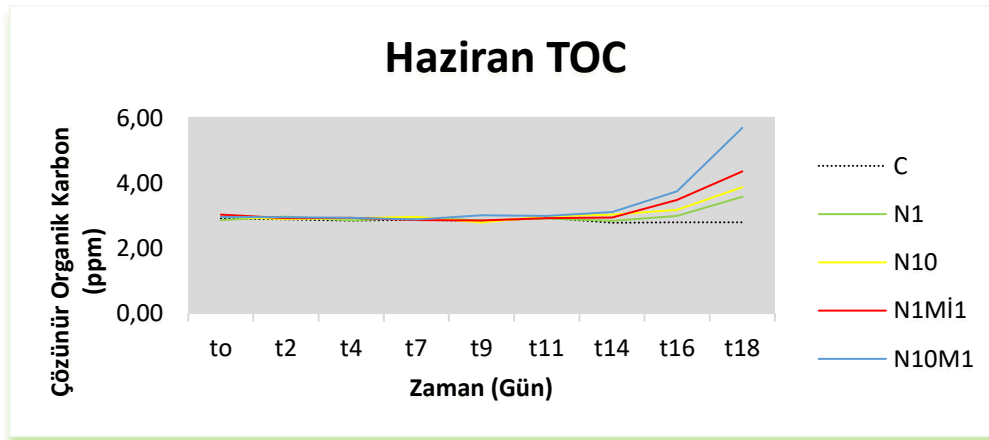
(c) Monosakkarit Konsantrasyonları

Çalışmanın başlangıcında monosakkarit konsantrasyonları genellikle belirleme sınırlarının altındadır. Ancak deneyin 6. gününde (Cryptophyceae azalmasına paralel) Galaktoz ve Glukoz monosakkarit değerlerinde belirgin bir artış söz konusudur. Galaktoz N10, N1Mi1 ve N10Mi1 şişelerinde sırasıyla 1.8, 1.9, 2.2 μM değerlerine ulaşırken Glukoz 4.1, 3.2 ve 4.8 μM değerlerine ulaşmıştır (Şekil 4.23). Sekizinci gün konsantrasyonlar 0.1 μM seviyelerine düşüp daha sonra belirleme limitlerinin altında kalmışlardır. Benzer şekilde yine 6.gün NH_4 değerleri de artmıştır.

Yaz dönemi örnekleri ile yapılan TOC analizlerinde sonuçlar arasındaki belirgin fark özellikle 11. Gün ve sonrasında ortaya çıkmıştır (Şekil 4.24).



Şekil 4.23. Yaz dönemi deney şişelerinde 6. Gün belirlenen Glukoz ve Galaktoz konsantrasyonları (μM).



Şekil 4.24. Yaz dönemi deney şişelerinde ölçülen Çözünür Organik Karbon Konsantrasyonları.

(d) Mikro Besin Tuzları

Yaz döneminde gerçekleştirilen deneylerde katyonik formlar genel olarak birbirleri arasında güçlü etkileşim katsayıları sergilemekle birlikte Zn – Cu arasında ile ılımlı etkileşim katsayıları sergilemiştir (Tablo.4.18). Düşük etkileşim katsayısı çinko mikro besin tuzunun yaz döneminde ilkbahara kıyasla fitoplankton kompozisyonuna bağlı olarak farklı tüketilmiş olabileceğini belirtir.

Yaz dönemini örneklerinde anyonik mikro besin tuzları (Cd hariç) kendi aralarında güçlü etkileşim göstermişlerdir. Anyonik formdaki Cd etkileşim katsayıları, çalışmada diğer mikro besin tuzlarından farklı bir tüketilme sözkonusu olduğunu gösterir.

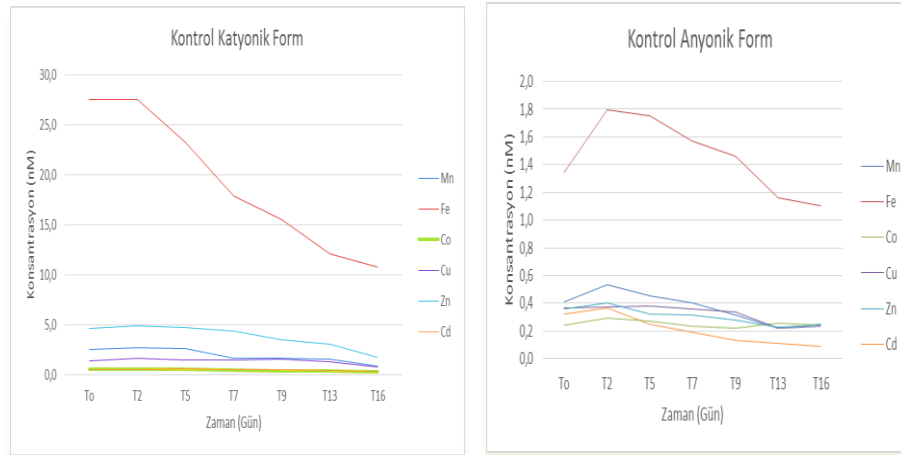
Tablo 4.18. Yaz dönemi deneylerinde mikro besin tuzları arasındaki etkileşim katsayıları.

K: Katyonik ve A: Anyonik

	Mn-K	Fe-K	Co-K	Cu-K	Zn-K	Cd-K
Mn-K	1.00					
Fe-K	0.99	1.00				
Co-K	1.00	0.99	1.00			
Cu-K	0.76	0.77	0.81	1.00		
Zn-K	0.49	0.56	0.51	0.76	1.00	
Cd-K	0.97	0.98	0.97	0.83	0.64	1.00
	Mn-A	Fe-A	Co-A	Cu-A	Zn-A	Cd-A
Mn-A	1.00					
Fe-A	0.96	1.00				
Co-A	0.87	0.97	1.00			
Cu-A	0.28	0.47	0.58	1.00		
Zn-A	0.24	0.18	0.14	0.38	1.00	
Cd-A	-0.61	-0.69	-0.66	-0.55	-0.19	1.00

Ekleme deneyi çalışmalarının yaz dönemi Kontrol örneklerinin katyonik formlarının başlangıç (T0) konsantrasyonları Mangan 2.5 nM, Demir 27.5 nM, Kobalt 0.5 nM, Bakır 1.4 nM, Çinko 4.6 nM ve Kadmiyum 0.5 nM, anyonik formlarının ise Mangan 0.4 nM, Demir 1.3 nM, Kobalt 0.2 nM, Bakır 0.4 nM, Çinko 0.4 nM ve Kadmiyum 0.3 nM seviyelerinde ölçülmüştür. Kontrol örneklerinde mikro besin tuzlarının (katyonik ve anyonik formlar) zamansal değişimi Şekil 4.24'te verilmiştir.

Şekillerden de görüleceği üzere çalışma süresinde ortamdan mikro besin tuzları tüketilmiştir. Yaz dönemi örneklerinde başlangıç hücre sayısının düşük olması 16 günlük süre içerisinde ortamdaki tüm mikro besin tuzlarının tamamının tüketilmesine olanak sağlamamıştır.



Şekil 4.25. Yaz dönemi kontrol örneklerinde mikro besin tuzlarının (Katyonik ve anyonik formlar) konsantrasyonlarının zamansal değişimi.

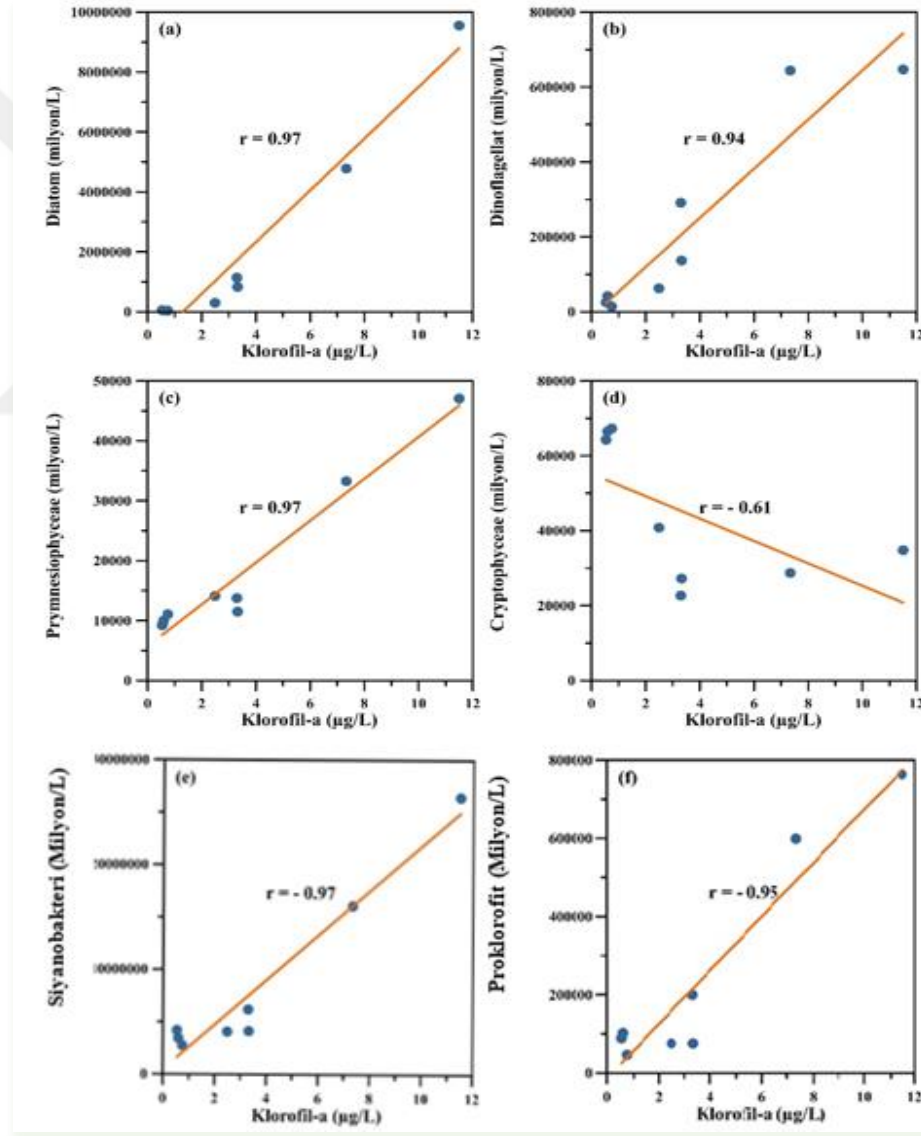
İlkbahar döneminde tüm şişelerde ölçülen katyonik Fe konsantrasyonları yaklaşık 39 nM dolaylarında gözlemlenirken yaz döneminde bu değerler 27.5 nM olarak tespit edilmiştir. Örnekleme derinliği (20 metre) oksik tabakaya denk gelirken sözkonusu değişimler tekrar üretim, fekal pelet, viral ölüm ve bakterilerce salgılanan organik ligantlar gibi nedenlerden olup, benzer değişimler oksijenin minimum olduğu başka denizlerde gözlemlenmiştir (Johnson vd., 1996).

Hem ilkbahar hem de yaz dönemi deneylerinde mikro besin tuzlarının katyonik ve anyonik formları arasında genellikle güçlü etkileşim katsayıları tespit edilmiştir. Fakat, anyonik formlar arasındaki ilişkiye bakıldığında zaman Cd mikro besin tuzunun tüm diğer anyonik formlardaki mikro besin tuzlarından farklı bir etkileşim sergilediği belirlenmiştir. Bu durum Cd'nin farklı bir şekilde organik türleşme yaptığını gösterir. Yaz döneminde gerçekleştirilen deneylerde ise katyonik formlar Zn ile güçlü etkileşim göstermek yerine ılımlı etkileşim katsayıları sergilemiştir. Düşük etkileşim katsayısı çinko mikro besin tuzunun yaz döneminde ilkbahara kıyasla fitoplankton kompozisyonuna bağlı olarak farklı tüketilmiş olabileceğini gösterir.

Deneyler süresince tespit edilen mikro besin tuzları zamana bağlı olarak azalmıştır. Klorofil-*a*, fitoplankton ve bakteriofitoplankton hücre sayılarındaki artışlarla makro besin tuzları nitrat, fosfat ve silikat konsantrasyonları dikkate alındığında doğrusal bir ilişki bulunamamıştır. Fakat, fitoplankton ve bakteriofitoplanktonların tüm mikro besin tuzlarıyla kuvvet yasasına göre güçlü bir etkileşim gösterdikleri tespit edilmiştir. Fitoplankton türleri içerisinde tüketilen mikro besin tuzuna karşı en yüksek hücre sayısı artışı Diatomlar göstermiş geriye kalan türlere kıyasla daha çabuk çoğalma hızlarına erişebilecekleri ölçülmüştür. Siyanobakteri ve Proklorofit kıyasladığında hücre sayılarının artış hızlarının neredeyse

kıyaslanabilir olduğu belirlenirken, Co hariç Proklorofit mikro besin tuzlarını tüketirken daha hızlı çoğalabildikleri görülmüştür.

Klorofil-*a* fitoplankton, Siyanobakteri ve Proklorofit arasındaki ilişkiler Şekil 4.26'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılabacağı gibi Diatomlar, Dinoflagellatlar ve Prymnesiophyceaealar, Klorofil-*a* ile güçlü etkileşim katsayıları sergilemekteyken özellikle Diatomların makro ve mikro besin tuzlarına çoğalma tepkisi diğer iki gruba kıyasla daha hızlı gözlemlenmektedir. Ne var ki, bu koşullar altında yaz döneminde fitoplankton kompozisyonunu domine eden Cryptophyceae giderek azalmıştır. Bakteriofitoplanktonlar Siyanobakteri ve Proklorofit fitoplanktonlara benzer bir davranış sergileyerek çoğalmışlar ve Klorofil-*a* ile güçlü etkileşim katsayıları göstermişlerdir. Bu grup içinde hücre sayısı dikkate alındığında Siyanobakterilerin daha baskın olduğu görülmüştür.



Şekil 4.26. Fitoplanktonlar ve bakterioplanktonlar ile Klorofil-*a* arasındaki etkileşimler. (a) Diatomlar, (b) Dinoflagellatlar, (c) Prymnesiophyceaealar, (d) Cryptophycealar, (e) Siyanobakteri ve (f) Proklorofit.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma ile Marmara Deniz'ine atmosferik yollarla giren makro ve mikro besin tuzlarının fitoplankton kompozisyonuna ve birincil üretime olan etkisinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bunun için belirlenen lokasyonlardan atmosferik ve deniz suyu örnekleri toplanmıştır. Alınan örneklerde makro ve mikro besin tuzları, monosakkaritler, pigment analizleri ve tür sayımları gerçekleştirilmiştir.

Atmosferik örneklerin analiz sonuçlarına göre Na^+ ve Mg^{2+} iyonlarının deniz tuzu, K iyonlarının bir kısmının toprak kökenli, SÇOA'nın önemli bir kısmının ikincil aerosoller kaynaklı olduğu görülmüştür. Mn ve Fe arasındaki güçlü etkileşim kirleticilerin bir kısımlarının toprak kökenli olabileceğini gösterirken diğer kirleticilerle olan ılımlı etkileşim katsayıları atık yağ yakımı (Ni ve V), atık, çöp yakma ve araç parçalarının yıpranması (Zn) ve kömür yakımı (As) gibi antropojenik aktivitelerden de etkilenmiş olabileceklerine işaret etmektedir. Al ve P elementlerinin çalışma süresince özellikle kirletici kaynaklı olduğu ve kirleticilerin benzer bir taşınım örüntüsüne sahip olabilecekleri görülmüştür.

Atmosferik mikro besin tuzlarının sudaki çözünürlükleri karşılaştırıldığında en yüksek çözünürlüğün Zn olduğu, bunu sırası ile Cd, Mn, P, Cu, Fe ve Co'ın takip ettiği belirlenmiştir.

Bölge atmosferinin mikro besin tuz girdileri ve azota karşı molar oranları dikkate alındığında atmosferik akıda Fe ve Zn azota kıyasla daha zengin, Mn, Co, Cu ve Cd mikro besin tuzları ise azota kıyasla daha eksik olduğu bulunmuştur. Özellikle insan kaynaklı antropojenik etkilerin artması eksik olan mikro besin tuzlarının konsantrasyonlarının artmasına ve sucul ortamda sınırlayıcı etkilerinin azalmasına neden olacaktır.

Yapılan çalışma ile tüm makro besin tuzları için hesaplanan toplam çökeltme akıları dikkate alındığında bölgede yaş çökeltmenin önemli olabileceğini ortaya koymuştur. Kuru çökeltme nitrat ve SÇOA'nın sırasıyla %35 ve %42'sini, amonyum ve fosfatın %17 ve %25'ini açıklamaktadır. Molar N/P oranları dikkate alındığında Redfield ($\text{N/P} = 16$) oranına kıyasla hem kuru hem de toplam çökeltmenin yaklaşık 2 kat daha yüksek N içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Bölge atmosferindeki hem birincil hem de ikincil aerosollerin önemli miktarda azot içerdiği belirlenmiştir.

Atmosfer yoluyla yıllık bölgeye sağlanan tüm azot ve fosforun birincil üretim için kullanıldığı varsayılır ve Redfield C/P (106) ve C/N (106/16) oranlarına başvurulursa, Marmara Denizi'nde fosfor ve azot sırasıyla günlük 13.9 ve 24.6 mg.C/m².d yeni üretimi destekleyebileceği hesaplanmıştır. Önceki çalışma sonuçları dikkate alınırsa Marmara Denizi'nde atmosferik azot, birincil üretimi en az % 1.3 en fazla % 37.8, fosfor ise en az % 0.8 en fazla % 21.8 destekleyebileceği hesaplanmıştır. Bu durum atmosferik girdilerin birincil üretimde önemli miktarda paya sahibi olduğunu göstermektedir.

Çalışma kapsamında Marmara Denizi yüzey suyu ile yapılan mikroközm deneylerinde İlkbahar dönemi ile yaz döneminin hücre sayılar, besin tuzu, fitoplankton ve pigment kompozisyonu açısından çok farklı olduğunu göstermiştir. İlkbahar döneminde Diatomların (en az %90) baskın olduğu, yaz döneminde ise en fazla gözlenen türün Cryptophyceae (en az %40) olduğu belirlenmiştir. İlkbahar döneminde gerçekleştirilen deneylerde tüm deney şişelerinde Klorofil-*a* kontrole kıyasla anlamlı artışlar göstermiştir. Deneyin 8. Günü gibi kısa bir zamanda hücre sayılarının ve Klorofil-*a*'nın belirgin artışlar sergilediği belirlenmiştir. Fitoplankton hücre sayıları deneyin 12. günü aniden azalmasına karşın Siyanobakteri ve Proklorofit sayılarının çok olması Klorofil-*a*'nın beklenenden daha az düşmesine neden olduğu, bu süreç içerisinde diğer fitoplanktonların parçalanma ile Arabinoz monosakkariti ve çözünür organik karbon konsantrasyonları dikkat çekici artışlar sergilediği belirlenmiştir.

Haloklinin hemen üzerinde gerçekleştirilen örneklemelerle yapılan Yaz dönemi ekleme deney sonuçları ilkbahara kıyasla mikro besin tuzlarınca daha düşük, makro besin tuzlarınca daha zengin olduğu ve neredeyse 40 kat daha az hücre sayısına sahip olduğunu göstermiştir. Diğer yandan, monosakkarit artışı deneyin başında ve çok daha şiddetle gözlemlenmiştir. Özellikle *Skeletonema costatum*'un deney başlangıcında %0.4 olan katkıları %90'ların üzerine çıkmıştır. Bu durum besin tuzları ve ışığın yeterli olduğu koşullarda *Skeletonema costatum*'un diğer mikro organizmalara kıyasla çok hızlı çoğalabildiklerini ve bu döngülerini tamamlayana kadar diğer Fitoplankton türlerinin baskın olmasına pek olanak tanımadıklarını gösterir. *Skeletonema costatum* 'un baskın tür oluncaya kadar geçen zaman içerisinde (Cryptophyceae'ların parçalanma süreci sonunda) ortamda glikoz ve galaktoz monosakkaritleri anlamlı bir şekilde belirleme limitlerinin üzerine çıkmıştır (6.gün).

Çalışma kapsamında yapılan ekleme deneylerinde mikro besin tuzlarının katyonik ve anyonik formları arasında genellikle güçlü etkileşim katsayıları tespit edilmiştir. Fakat, anyonik formlar arasındaki ilişkiye bakıldığı zaman Cd mikro besin tuzunun tüm diğer anyonik formlardaki mikro besin tuzlarından farklı bir etkileşim sergilediği belirlenmiştir. Bu durum Cd'nin farklı bir şekilde organik türleşme yaptığını gösterir. Saf kültür örnekleri ile yapılacak daha detaylı çalışmalar ile Cd'un nasıl bir etkileşim yaptığı belirlenebilir. Deneyler süresince tespit edilen mikro besin tuzları zamanla tüketime bağlı olarak azalmıştır. Klorofil-*a*, fitoplankton ve bakteriofitoplankton hücre sayılarındaki artışlarla makro besin tuzları nitrat, fosfat ve silikat konsantrasyonları dikkate alındığında doğrusal bir ilişki bulunamamıştır. Fitoplankton türleri içerisinde tüketilen mikro besin tuzuna karşı en yüksek hücre sayısı artışını Diatomlar göstermiş geriye kalan türlere kıyasla daha çabuk çoğalma hızlarına erişebilecekleri sonucuna varılmıştır.

Diatomlar, Dinoflagellatlar ve Prymnesiphyceae, Klorofil-*a* ile güçlü etkileşim katsayıları sergilemekteyken özellikle Diatomların makro ve mikro besin tuzlarına çoğalma tepkisi diğer iki gruba kıyasla daha hızlı olduğu bulunmuştur.

Yapılan mikrokozmlar çalışması ile haloklinin hemen üzerinden alınan su örneklerinde ışık ve besin tuzlarının yeterli olmasına rağmen hücre sayılarının çok düşük olması, kısa sürede şiddetli değişimler olmasını engellemiştir. Işık miktarının fitoplanktonlara ve bakteriofitoplanktonlara bağlı kısa zamanda büyük biyokütle artışı yapabilmesinde ve monosakkarit konsantrasyonlarının artmasında sınırlı kalabileceği düşünülebilir. Diğer bir deyişle haloklinin hemen üzerinde makro ve mikro besin tuzlarında herhangi bir artış olsa bile ışığın deneye kıyasla çok daha sınırlayıcı olabileceği ve deneye kıyasla biyokütle artışına daha az tepki verebileceği sonucuna varılır.

Çalışma sonuçları, Atmosferik makro ve mikro besin tuz türlerinin ve miktarlarının Fitoplankton tür kompozisyonunda belirli bir pay sahibi olduğunu ortaya koymuştur. Belirlenen koşullarda fitoplankton ve bakteriofitoplanktonların mikro besin tuzlarını kullanımı, çoğalmaları ve monosakkaritlerdeki artışlar dikkate alındığında kısa zamanda büyük biyokütle artışına başlıca katkı yapabilecek fitoplanktonun öncelikle *Skeletonema costatum* 'un ve daha sonra Siyanobakterilerin olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Saf fitoplankton kültürleri kullanılarak yapılacak çalışma ile hücresel parçalanmanın hangi monosakkariti açığa çıkarabilecekleri, zamansal olarak mikro besin tuzları ile olan etkileşimleri belirlenmelidir. Bu şekilde fitoplanktonlar ile makro-mikro besin tuzları arasındaki ilişkiler saptanarak sucul ortamdaki biyokütle değişimi yapabilme miktarları belirlenebilecektir.

KAYNAKLAR

Akkoyunlu, B. O. and Tayanç, M. (2001). "Analyses of wet and bulk deposition in four different regions of Istanbul, Turkey." *Atmospheric Environment*, 3571-3579.

Alicli, B. T., Polat, S., Balkis, N. O. (2020). "Temporal variations in the abundance of picoplanktonic *Synechococcus* (Cyanobacteria) during a mucilage event in the Gulfs of Bandırma and Erdek." *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 106513.

Allredge A. L., Cowles T. J., MacIntyre S., Rines J.E.B., Donaghay P. L., Greenlaw C. F. (2002). "Occurrence and mechanisms of formation of a dramatic thin layer of marine snow in a shallow Pacific fjord." *Mar Ecol Prog Ser.*, 1–12.

Amicucci, M. J., Galermo, A. G., Guerrero, A., Treves, G., Nandita, E., Kailemia, M. J., Higdon, S. M., Pozzo, T., Labavitch, J. M., Bennett, A. B., Lebrilla, C. B. (2019). "Strategy for structural elucidation of polysaccharides: elucidation of a maize mucilage that harbors diazotrophic bacteria." *Anal. Chem.*, 7254 -7265.

Arimoto, R. (2001). "Eolian dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition." *Earth-Science Reviews*, 54, 29–42.

Balcı, M., Balkis, N. (2017). "Assessment of phytoplankton and environmental variables for water quality and trophic state classification in the Gemlik Gulf, Marmara Sea (Turkey)." *Marine Pollution Bulletin*, 172–189.

Balkis, N., Atabay, H., Türetgen, İ., Albayrak, S., Balkis, H., Tüfekçi, V. (2011). "Role of singlecelled organisms in mucilage formation on the shores of Büyükada Island (the Marmara Sea)." *J. Black Sea Mediterr. Environ.*, 771–781.

Bardouki, H., Liakakou, H., Economou, C., Sciare, J., Smolik, J., Zdimal, V., Eleftheriadis, K., Lazaridis, M., Dye, C. and Mihalopoulos, N. (2003). "Chemical composition of size-resolved atmospheric aerosols in the eastern Mediterranean during summer and winter." *Atmospheric Environment*, 37, 195–208.

Barlow, R. G., Cummings D. G., Gibb S. W. (1997). "Improved resolution of mono- and divinyl chlorophylls a and b and zeaxanthin and lutein in phytoplankton extracts using reverse phase C-8 HPLC." *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 161: pp. 303-307.

Behbahani, B. A., Tabatabaei Yazdi, F., Shahidi, F., Hesarinejad, M. A., Mortazavi, S. A., Mohebbi, M. (2017). "Plantago Major Seed Mucilage: Optimization of Extraction and Some Physicochemical and Rheological Aspects." *Carbohydrate Polymers.*, 68 -77.

Beşiktepe, Ş., Özsoy, E. and Latif, M. A. (1995). "Sewage Outfall Plume in the Two-Layer Channel: An Example of Istanbul Outfall." *Wat. Sci. Tech.*, 69-75.

Beşiktepe, Ş., Tuğrul S., Telli, M. (2002). "Besin çeşitliliğinin zooplanktonların büyümlerine ve besin tuzları döngüsüne etkileri üzerine yaptığı laboratuvar çalışması." TÜBİTAK YDABÇAG-100Y104 proje final raporu, 15.

Beşiktepe, Ş. T., Sur, H. I., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T., Ünlüata, U. (1994). "The Circulation and Hydrography of the Marmara Sea." *Progress in Oceanography*, 34, 285-334.

Blake, R. E., O'Neil, J. R. & Surkov, A. V. (2005). "Biogeochemical cycling of phosphorus: insights from oxygen isotope effects of phosphoenzymes." *American Journal of Science*, 305, 596–620.

Boran L.J. (2017). "Natural and Human Induced Nutrient Impacts on Phytoplankton Communities in Mersin Bay, N.E Mediterranean", PhD., Marine Biology and Fisheries, Middle East Technical University, Graduate School of Marine Sciences."

Borch, N. H., Kirchman, D. L. (1997). "Concentration and composition of dissolved combined neutral sugars (polysaccharides) in seawater determined by HPLC-PAD." *Marine Chemistry*, 85-95.

Boyd, P. W., Strzepek, R., Chiswell, S., Chang, H., DeBruyn, J. M., Ellwood, M., Keenan, S., King, A. L., Maas, E. W., Modder, S., Sander, S. G., Sutton P., Twining, B. S., Wilhelm, S. W., Hutchins, D. (2012). "Microbial control of diatom bloom dynamics in the open ocean." *Geophysical Research Letters*, Vol. 39, L18601.

Boyd, P. W., Jickells, T., Law, C. S., Blain, S., Boyle, E. A., Buesseler, K.O., Coale, K. H., Cullen, J. J., De Baar, H. J., Follows, M., Harvey, M., Lancelot, C., Levasseur, M., Owens, N. P. J., Pollard, R., Rivkin, R. B., Sarmiento, J., Schoemann, V., Smetacek, V., Takeda, S., Tsuda, A., Turner, S., Watson, A. J. et al. (2007). "Mesoscale Iron Enrichment Experiments 1993-2005: Synthesis and Future Directions." *Science*. 315 (5812): 612–7.

Castellani C., Irigoien X., Harris, R. P., Lampitt, R. S. (2005). “Feeding and egg production of *Oithona similis* in the North Atlantic.” *Mar Ecol Prog Ser* 288: 173–182.

Chen, Y., Mills, S., Street, J., Golan, D., Post, A., Jacobson, M., Paytan, A. (2007). “Estimates of atmospheric dry deposition and associated input of nutrients to Gulf of Aqaba seawater.” *Journal of Geophysical Research*, 112, D04309.

Chen Q., Mirrielees J.A, Thanekar S., Loeb N.A., Kirpes R.M., Upchurch L.M., Barget A.J., Lata N.N., Raso A.R.W., McNamara S.M., China S., Quinn P.K., Ault A.P., Kennedy A., Shepson P.B., Fuentes J.D., Pratt K.A. (2022). “Atmospheric particle abundance and sea salt aerosol observations in the springtime Arctic: a focus on blowing snow and leads.” *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22 (23), 15263-15285.

Chester, R., Lin, F. J. and Murphy K.J.T. (1989). “A three stage sequential leaching scheme for the characterisation of the sources and environmental mobility of trace metals in the marine aerosol.” *Environmental Technology Letters*, 10, 887-900.

ÇŞİDB, TÜBİTAK-MAM (2021). “Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2019 Marmara Denizi Özet Raporu”, TÜBİTAK-MAM Matbaası, Kocaeli, s.29.

Çoban-Yıldız, Y., Tuğrul, S., Ediger, D., Yılmaz, A., Polat, S. C. A. (2000). “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*, 51-63,

Daniel A. Knopf, Joseph C. Charnawskas, Peiwen Wang, Benny Wong, Jay M. Tomlin, Kevin A. Jankowski, Matthew Fraund, Daniel P. Veghte, Swarup China, Alexander Laskin, Ryan C. Moffet, Mary K. Gilles, Josephine Y. Aller, Matthew A. Marcus, Shira Raveh-Rubin, Jian Wang. (2022). “Micro-spectroscopic and freezing characterization of ice-nucleating particles collected in the marine boundary layer in the eastern North Atlantic.” *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22 (8), 5377-5398.

Danovaro, R., Armeni, M., Luna, G. M., Corinaldesi, C., Dell’Anno, A., Ferrari, C. R., Fiordelmondo, C., Gambi, C., Gismondi, M., Manini, E., Mecozzi, M., Perrone, F. M., Pusceddu, A., Giani, M. (2005). “Exo-enzymatic activities and dissolved organic pools in relation with mucilage development in the Northern Adriatic Sea.” *Science of the Total Environment*, 189– 203.

De Souza C.A, Gonzalez M.T. and Iriarte J.L. (2008). "Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fjords of southern Chile." *Journal of Plankton Research*. V:30. number 11. pages 1233–1243.

De Lazzari, Berto, D., Cassin, D., Boldrin, A., Giani M. (2008). "Influence of winds and oceanographic conditions on the mucilage aggregation in the northern Adriatic Sea in 2003–2006 *Marine Ecology*." *An Evolutionary Perspective*, 469-482.

Deserti, M., Cacciamani, C., Chiggiato, J., Rinaldi, A., Ferrar, C. R. (2005). "Relationships between northern Adriatic Sea mucilage events and climate variability." *Science of the Total Environment*, 82–88.

Draxler, R. R. ve Rolph, G. D. (2003). "HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model Access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>)." NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

Droop, M. R. (1973). "Some thoughts on nutrient limitation in algae." *J. Phycol.* 9, 264–272.

Duce, R. A., Liss, P. S., Merrill, J. T., Atlas, E. L. and Buat-Menard, P. (1991). "The atmospheric input of trace species to the world ocean, *Global Biogeochem.*" *Cy.*, 5, 193–259.

Eker-Develi, E., Berthon, J. F., Free, G. (2022). "Impact of environmental factors on phytoplankton composition and their marker pigments in the northern Adriatic Sea." *Oceanologia* Volume 64, Issue 4, October–December 2022, Pages 615-630.

Eppley, R. W., Thomas, W. H. (1969). "Comparison of half-saturation constants for growth and nitrate uptake of marine phytoplankton." *J. Phycol.* 5, 365–369.

Gotsis-Skretas O. (1995). "Mucilage appearance in Greek waters during 1982– 1994." *Sci Total Environ.*, 229– 230.

Grasshoff, K., Erhardt, M., Kremling, K. (1983). "Determination of Nutrients. In: *Methods of Seawater analysis* (2nd edition)." Verlag Chemie GmbH Weinheim, Germany, 125-188.

- Günindi, M. and Yücel Taşdemir, Y. (2010). “Atmospheric polychlorinated biphenyl (pcb) inputs to a coastal city near the marmara sea.” *Marine Pollution Bulletin* 60, 2242–2250.
- Hansen, B. W., Drillet G., Kozme A., Madsen, K. V., Pedersen M. F., Sørensen T. F. (2010). “Temperature effects on copepod egg hatching: Does acclimatization matter?” *Journal of Plankton Research* 32(3):305–315.
- Hansen, J. L. S., Timm, U. and Kiørboe, T. (1995). “Adaptive significance of phytoplankton stickiness with emphasis on the diatom *Skeletonema costatum*.” *Mar. Biol.*, 123, 667– 676.
- Harrison, W. G. (1976). “Nitrate metabolism of the red tide dinoflagellate *Gonyaulax polyedra* Stein.” *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 21, 199–209.
- Herndl G. J., Karner M., Peduzzi P. (1992). “Floating mucilage in the Northern Adriatic Sea: the potential role of a microbial ecological approach to solve the mystery.” *Sci Total Environ.*, 525–538.
- Herut, B., Krom, M. D., Pan, G. and Mortimer, R. (1999). “Atmospheric input of nitrogen and phosphorus to the Southeast Mediterranean: sources, fluxes, and possible impact.” *Limnology and Oceanography*, 44, 1683–1692.
- Herut, B., Nimmo, M., Medway, A., Chester, R. and Krom, M.D. (2001). “Dry deposition at the Mediterranean coast of Israel (SE Mediterranean): sources and fluxes.” *Atmospheric Environment*, 35, 803–813.
- Herut, B., Zohary, T., Krom, M. D., Mantoura, R. F. C., Pitta, P., Psarra, S., Rassoulzadegan, F., Tanaka, T., Thingstad, T. F. (2005). “Response of East Mediterranean surface water to Saharan dust: On-board microcosm experiment and field observations.” *Deep-Sea Research II*, 52, 3024–3040.
- Huo, W., Yu, Z., Zou, J. et al. (2001). “Outbreak of *Skeletonema costatum* red tide and its relations to environmental factors in Jiaozhou Bay.” *Ocean. Limnol. Sinica*, 32, 311–318.
- Ho, T. Y., Quigg, A., Finkel, Z. V., Milligan, A. J., Wyman, K., Falkowski, P. G., Morel, F. M. M. (2003). “The Elemental Composition of some Marine Phytoplankton.” *Journal of Physiology*, 39, 1145–1159.

- Huang, J., Lin, B., Minnis, P., Wang, T., Wang, X., Hu, Y., Yi, Y., Ayers, J. K. (2006). "Satellite-based assessment of possible dust aerosols semidirect effect on cloud water path over East Asia, Geophys." Res. Lett., 33, L19802.
- Hutchins, D. A., Bruland, K. W. (1998). "Iron-limited diatom growth and Si:N uptake ratios in a coastal upwelling regime." Nature, Vol. 393, pages 561-564.
- Im, U., Christodoulaki, S., Violaki, K., Zampas, P., Koçak, M., Daskalakis, N., Mihalopoulos, N., Kanakidou, M. (2013). "Atmospheric deposition of nitrogen and sulfur over southern Europe with focus on the Mediterranean and the Black Sea." Atmospheric Environment, 81, 660-670.
- Innamorati M. (1995). "Hyperproduction of mucilages by micro and macro algae in Tyrrhenian Sea." Sci Total Environ., 65– 81.
- Jayarathne T., Sultana C.M., Lee C., Malfatti F., Cox J.L., Pendergraft M.A., Moore K.A., Azam F., Tivanski A.V., Cappa C.D., Bertram T.H., Grassian V.H., Prather K.A. and Stone E.A. (2016). "Enrichment of Saccharides and Divalent Cations in Sea Spray Aerosol During Two Phytoplankton Blooms", Environ. Sci. Technol. , 50, 21, 11511–11520.
- Jeffrey, S. W., Mantoura, R. F. C. Ve Wrigh T. S. W. (1997). "Phytoplankton pigments in oceanography: Guidelines to modern methods." UNESCO Publishing Paris, 37-84, ISBN:9231032755.
- Jickells, T. D., An, Z. S., Andersen, K. K., Baker, A. R., Bergametti, G., Brooks, N., Cao, J. J., Boyd, P. W., Duce, R. A., Hunter, K. A., Kawahata, H., Kubilay, N., LaRoche, J., Liss, P. S., Mahowald, N., Prospero, J. M., Ridgwell, A. J., Tegen, I. and Torres, R. (2005). "Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate." Science, 308, 67-71.
- Johnson, J. S., Coale, K. H., Berelson, W. M., Gordon, R. M. (1996). "On the formation of the manganese maximum in the oxygen minimum." Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 60, No. 8, pp. 1291- 1299.
- Kamal, K.R., Hansol D.L., Miguel A.G. Jr., Franklin J.C., Alexei V.T. (2019). "Correlating 3D Morphology, Phase State, and Viscoelastic Properties of Individual Substrate-Deposited Particles." Analytical Chemistry, 91 (12), 7621-7630.

Karpuzcu, M., Koçali, M. (2007). “Göllerde Ötrofikasyon ve Çözüm Önerileri, Göller Kongresi Göller Yöresi, İç Anadolu Gölleri ve Sorunları.” 09-10 Haziran, 86-92.

Kawee-ai, A., Kuntiya, A., Kim, S. M. (2013). “Anticholinesterase and antioxidant activities of fucoxanthin purified from the microalga *Phaeodactylum tricornutum*.” *Nat. Prod. Commun.* 8(10):1381-6.

Kempes, C. P., Dutkiewicz, S., Follows, M. J. (2012). “Growth, metabolic partitioning, and the size of microorganisms.” *PNAS*, Vol.2, no.2, 495-500.

Kjørboe, T. and Hansen, J. L. S. (1993). “Phytoplankton aggregate formation: observation of patterns and mechanisms of cell sticking and the significance of exopolymeric material.” *J. Plankton. Res.*, 15, 993 –1018.

Koçak, M. (2015). “Solubility of Atmospheric Nutrients over the Eastern Mediterranean: Comparison between pure-water and sea-water, implications regarding marine production.” *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 15: 59-71.

Koçak, M., Mihalopoulos, N., Kubilay, N. (2007). “Chemical composition of the fine and coarse fraction of aerosols in the Northeastern Mediterranean.” *Atmospheric Environment*, 41, 7351-7368.

Koçak, M., Theodosi, C., Zarnpas, P., Im, U., Bougiatioti, A., Yenigun, O., N. Mihalopoulos, N. (2011). “Particulate matter (PM₁₀) in Istanbul: Origin, source areas and potential impact on surrounding regions.” *Atmospheric Environment*, 6891-6900.

Konucu, M., Eker-Develi, E., Örek, H., Başduvar, S., Kıdeyş, A. E. (2022). “Marker pigments and carbon biomass of phytoplankton on the northeastern Mediterranean Sea coast.” *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* Volume 550, 151718.

Koocheki, A., Razavi, S. M. A., Hesarinejad, M. A. (2012). “Effect of Extraction Procedures on Functional Properties of *Eruca Sativa* Seed Mucilage.” *Food Biophysics*.

Kouvarakis, G. and Mihalopoulos, N. (2002). “Seasonal variation of dimethylsulfide in the gas phase and of methanesulfonate and non-sea-salt sulfate in the aerosols phase in the Eastern Mediterranean atmosphere.” *Atmospheric Environment*, 36, 929-938.

Krom, M. D., Brenner, S., Kress, N. and Gordon, L. I. (1991). "Phosphorus limitation of primary productivity in the E. Mediterranean sea, Limnol." *Oceanogr.*, 36, 424–432.

Kubilay, N., Koçak, M., Çokacar, T. and Oğuz, T. (2002). "Influence of Black Sea and local biogenic activity on the seasonal variation of aerosol sulfur species in the eastern Mediterranean atmosphere." *Global Biogeochemical Cycles*, 16, NO. 4, 1079.

Leszek Marynowski, Bernd R. T. Simoneit. (2022). "Saccharides in atmospheric particulate and sedimentary organic matter: Status overview and future perspectives." *Chemosphere*, 288, 132376.

Levin, Z., Teller, A., Ganor, E., Yin, Y. (2005). "On the interactions of mineral dust, sea salt particles and clouds measurements and modeling study from the MEIDEX campaign." *J. Geophys. Res.*, 110.

MacKenzie L, Sims I, Beuzenberg V, Gillespie P. (2002). "Mass accumulation of mucilage caused by dinoflagellate polysaccharide exudates in Tasman bay, New Zealand." *Harmful Algae*, 69–83.

Maldonado, M. T., Boyd, P. W., Harrison, P.J., Price, N. M. (1999). "Co-limitation of phytoplankton growth by light and Fe during winter in the NE subarctic Pacific Ocean." *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* Volume 46, Issues 11–12, November 1999, Pages 2475-2485.

Markaki, Z., Oikonomou, K., Koçak, M., Kouvarakis, G., Chaniotaki, A., Kubilay, N. and Mihalopoulos, N. (2003). "Atmospheric deposition of inorganic phosphorus in the Levantine Basin, eastern Mediterranean: Spatial and temporal variability and its role in seawater productivity, Limnol." *Oceanogr.*, 48, 1557–1568.

Martin, J. H., Coale, K. H., Johnson, K. S. (1994). "Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial pacific-ocean." *Nature*, 371, 123–129.

Miller, J. (1905). "The nitrogen content of rain falling at Rothamsted, J. Agr." *Sci.* 1, 280–303.

Morel, F. M. M., Price, N. M. (2003). "The biogeochemical cycles of trace metals in the oceans." *Science* 300, 944–947.

- Nazari, M. (2021). "Plant mucilage components and their functions in the rhizosphere." *Rhizosphere*, 100344.
- Nehir, M., Koçak. (2018). "Atmospheric water-soluble organic nitrogen (WSO) in the eastern Mediterranean: origin and ramifications regarding marine productivity." *Atmos. Chem. Phys.*, 3603–3618, 2018.
- Okay, C., Akkoyunlu, B. O., Tayanç, M. (2002). "Composition of wet deposition in Kaynarca, Turkey." *Environmental Pollution*, 401–410.
- Paerl, H.W. (1988). "Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters." *Limnol. Oceanogr.* 33, 823–847.
- Paerl, H.W. (1997). "Coastal eutrophication and harmful algal bloom: Importance of atmospheric deposition and groundwater as 'new' nitrogen and other nutrient sources." *Limnol. Oceanogr.* 42, 1154–1165.
- Paytan, A., Mackey, K. R. M., Mackey, Chen, Y., Lima, I. D., Doney, S. C., Mahowald, N., Labiosa, R., Post, A. F. (2009). "Toxicity of atmospheric aerosols on marine phytoplankton." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 4601-4605.
- Polat, S. Ç., Tuğrul, S. (1995). "Nutrient and organic carbon exchanges between the Black and Marmara Seas through the Bosphorus Strait." *Continental Shelf Research*, 1115-1132.
- Polat, S. Ç., Tuğrul, S., Çoban, Y., Baştürk, Ö., Salihoğlu, İ. (1997). "Elemental composition of seston and nutrient dynamics in the Sea of Marmara." *Hydrobiologia*, 157–167.
- Pratt, D. M. (1965). "The winter-spring diatom flowering in Narragansett Bay." *Limnol. Oceanogr.*, 10, 173–184.
- Reuss, N., Conley, D. J. (2005). "Effects of sediment storage conditions on pigment analyses." *Limnol. Oceanogr.: Methods* 3, 477–487.
- Sabine, C.L., Feely, R.A. (2007). "The oceanic sink for carbon dioxide. In: *Greenhouse Gas Sinks* (eds., Reay, D., Hewitt, N., Grace, J., Smith, K.)." CABI Publishing, Oxfordshire, UK, pp. 31-49.

Sasse, J., Martinoia, E., Northen, T. (2018). “Feed your friends: do plant exudates shape the root microbiome.” In: Trends in Plant Science, 25-41.

Satheesh, S. K. ve Moorthy, K. K. (2005). “Radiative effects of natural aerosols: A review.” Atmospheric Environment, 39, 2089–2110.

Sciare, J., Cachier, H., Oikonomou, K., Ausset, P., Sarda-Estève, R. and N. Mihalopoulos (2003). “Characterization of carbonaceous aerosols during the MINOS campaign in Crete, July–August 2001: a multi-analytical approach.” Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 3, 3373-3410.

Smayda, T. J. (1997). “Harmful algal blooms: their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea.” Limnol. Oceanogr. 42, 1137–1153.

Theodosi, C., Im, U., Bougiatioti, A., Zarmpas, P. O., Yenigun, O., N. Mihalopoulos, N. (2010). “Aerosol chemical composition over Istanbul.” Science of the Total Environment, 2482–2491.

Tüfekçi, V., Balkis, N., Beken, Ç. P., Ediger, D., Mantıkçı, M. (2010). “Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara.” Turk. J. Biol. 34, 199–210.

Tutsak, E., Koçak, M. (2019). “High time-resolved measurements of water-soluble sulfate, nitrate and ammonium in PM 2.5 and their precursor gases over the Eastern Mediterranean.” Science of the Total Environment, Volume 672, Pages 212 – 226.

Uygur N., Saral A. (2013). “Evaluation Of The Effect Of Marmara Sea On The Characterization Of The Coastal Line Atmosphere In Istanbul” “Journal Of Engineering And Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi., Sigma 31, 429-439.

Wang Q., Li X., Yan T., Song J., Yu R., Zhou M. (2021). “Laboratory simulation of dissolved oxygen reduction and ammonia nitrogen generation in the decay stage of harmful algae bloom” Journal of Oceanology and Limnology. Vol. 39 No. 2, P. 500-507.

Wang J., Zhang Y., Li H. and Cao J. (2013). “Competitive interaction between diatom *Skeletonema costatum* and dinoflagellate *Prorocentrum donghaiense* in laboratory culture.” J. Plankton Res. 35(2): 367–378.

Venrick, E. L. (1978). “How many cells to count?” In: Sournia, A. (Ed.), *Phytoplankton manual*. UNESCO, U.K. pp. 167-180.

Yalçın, B., M. Levent Artüz, M. L., Pavlidou, A., Çubuk, S., Dassenakis, M. (2017). “Nutrient dynamics and eutrophication in the Sea of Marmara: Data from recent oceanographic research.” *Science of the Total Environment*, 405-424.

Yılmaz, A. (2002). “Türkiye Denizlerinin Biyojeokimyası: Dağılımlar ve Dönüşümler.” *Turkish. J. Eng. Env. Sci.*, 219-235.

Yoder, J. A. (1979). “A comparison between the cell division rate of natural populations of the marine diatom *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve grown in dialysis culture and that predicted from a mathematical model.” *Limnol. Oceanogr.*, 24, 97– 106.

