

T. C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

MARMARA DENİZİ’NİN FARKLI BÖLGELERİNDE
SUBOKSİK VE ANOKSİK SEVİYELERİN
ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Araş. Gör. Seben YÜCEL
Kimyasal Oşinografi Ana Bilim Dalı

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Tuba ÜNSAL ÖZGÜVENÇ
2. Danışman
Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR

ARALIK 2022



“Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: 38375”.

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

SEBEN YÜCEL ÇANKAYA tarafından hazırlanmış ve sunulmuş “MARMARA DENİZİ’NİN FARKLI BÖLGELERİNDE SUBOKSİK VE ANOKSİK SEVİYELERİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı tez KİMYASAL OŞİNOGRAFI Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Tuba ÜNSAL ÖZGÜVENÇ

2. Danışman
Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR

Jüri Üyesi
Prof. Dr. Figen Esin KAYHAN

Jüri Üyesi
Doç. Dr. Abdullah AKSU

Tez Savunma Tarihi: 20.12.2022

ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım “MARMARA DENİZİ’NİN FARKLI BÖLGELERİNDE SUBOKSİK VE ANOKSİK SEVİYELERİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı YÜKSEK LİSANS tez çalışmasında bilimsel etik ve akademik kurallara riayet ettiğimi;

- Çalışma konusunun özgün olduğunu,
- Tez içinde sunduğum tüm veri ve belgeleri bilimsel etik ve ahlak kuralları çerçevesinde elde ettiğimi,
- Çalışmanın bulgularında tahrifat yapmadığımı ve yanlış davranmadığımı,
- Tez kapsamında yararlandığım tüm eserlere ve doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya atıfta bulunduğumu,
- Yararlandığım tüm eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu,
- Kullandığım veri ve belgelerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Patent ve telif haklarını ihlal etmediğimi

bildirir, aksinin vuku bulması durumunda yasal sonuç/sonuçları ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabul ettiğimi beyan ederim.

23.12.2022

Seben YÜCEL

Annem Gülnihal YÜCEL ve Babam Zeki Yaşar YÜCEL'e...



ÖNSÖZ

Yapılan bu tez çalışmasında Marmara Denizi'nde farklı bölgelerde suboksik ve anoksik seviyeler araştırılmıştır ve bu bölgelerde suda sülfat indirgeyen bakteri tespiti yapılmıştır.

Tez çalışmamın planlanması ve yürütülmesi sürecinde desteğini esirgemeyen, her konuda bilgilerini ve deneyimlerini paylaşan, kıymetli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tuba ÜNSAL ÖZGÜVENÇ'e ve 2. Danışman hocam Kimyasal Oşinografi Ana Bilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR'a bana bu süreçte kattıkları her şey ve sonsuz destekleri için teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Araştırmalarım, saha çalışmalarım, analizlerim ve tez hazırlama sürecinde her konuda değerli bilgilerini paylaşan ve destek olan Sayın Doç. Dr. Abdullah AKSU, Sayın Doç. Dr. Ömer Suat TAŞKIN, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Esra Billur BALCIOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Nagihan KORKMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Örneklerin alınması ve analizlerim sırasında tecrübelerini benimle paylaşan ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli çalışma arkadaşlarım Araş. Gör. İrşad BAYIRHAN, Araş. Gör. Mehmet Emre ÇETİNTAŞOĞLU ve Araş. Gör. İlayda Destan ÖZTÜRK'e, ayrıca kıymetli arkadaşım Güldehan DERYAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında sabır gösteren ve her konuda destek sağlayan başta Enstitü Müdürümüz Sayın Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU olmak üzere, çok kıymetli aileme annem Gülnihal YÜCEL, babam Zeki Yaşar YÜCEL ve kardeşim Ekrem Berke YÜCEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Saha çalışması sırasında sağladıkları imkânlar ve göstermiş oldukları emekten dolayı T.C. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'ne ait "R/V Alemdar II" araştırma gemisi personeline teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması 121G143 numaralı ve "Marmara Denizi Müsilajının Patojen Barındırma Potansiyeli ve Bakteriyel Çeşitliliğe Olan Etkisinin Değerlendirilmesi" başlıklı TÜBİTAK-1001 projesi tarafından desteklenmiştir. Aynı projenin yürütücüsü olan ve desteklerini esirgemeyen hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sibel Zeki STUMPFELDT'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımı destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliği'ne teşekkür ederim (Proje numarası: 38375).

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	1
İÇİNDEKİLER	2
TABLO LİSTESİ.....	7
ŞEKİL LİSTESİ.....	8
SİMGE LİSTESİ.....	9
1.GİRİŞ	10
1.1. Marmara Denizi'nin Genel Özellikleri	12
1.2. Marmara Denizi'nin Oşinografik Yapısı	13
1.3. Denizlerde Suboksik ve Anoksik Koşulların Oluşumu	14
1.4. Marmara Denizi'nde Suboksik ve Anoksik Bölgelerin Oluşma Nedenleri	15
1.5. Marmara Denizi'ndeki Mikroorganizma Popülasyonu.....	16
1.6. Denizlerde Suboksik ve Anoksik Koşulların Belirlenmesinde İncelenmesi Gereken Kritik Parametreler	17
1.6.1. Çözünmüş oksijen	17
1.6.2. Hidrojen sülfür (H ₂ S)	17
1.6.3. pH ve ORP (Oksidasyon redüksiyon potansiyeli).....	18
1.6.4. Aerobik ve anaerobik bakteri yoğunluğu	18
1.7. Sülfat İndirgeyen Bakteriler	19
1.8. İzmit Körfezi	21
1.9. Çınarcık Çukuru	23
2. MATERYAL METOT	25
2.1. Çalışma Alanı.....	25
2.2. Örneklerin Alınması ve Saklanması.....	26
2.3. Fiziksel ve Kimyasal Analiz Yöntemleri	27
2.3.1. Tuzluluk.....	27
2.3.2. Sıcaklık	27
2.3.3. Işık Geçirgenliği	28
2.3.4. Çözünmüş oksijen (ÇO) analizi.....	28
2.3.5. Askıda katı madde (AKM)	28
2.3.6. pH analizi.....	29
2.3.7. Toplam sülfid analizi	29
2.3.8. Sülfat analizi	30
2.3.9. Mangan (Mn) ve Demir (Fe) Analizi	30
2.3.10. Besin, Elementleri Analizi.....	31

2.4. Mikrobiyolojik Analizler	31
2.4.1. AHB ve SRB'lerin İzolasyonu	31
2.4.2. AHB ve SRB'lerin sayımı	32
2.5. Besiyeri ve Kimyasalların Hazırlanması.....	34
2.5.1. Postgate B besiyeri	34
2.5.2. Marine agar besiyeri	34
2.5.3. Çözünmüş oksijen analizinde kullanılan reaktifler	35
2.5.3.1. Reaktif 1: $MnCl_2$	35
2.5.3.2. Reaktif 2: Alkali iyodür çözeltisi	35
2.5.3.3. Reaktif 3: Sülfirik asit	35
2.5.3.4. Reaktif 4: Sodyum tiyosülfat	35
2.5.3.5. Reaktif 5: Nişasta çözeltisi	36
2.5.3.6. Reaktif 6: İyodat standardı.....	36
2.5.4. Toplam sülfür analizinde kullanılan reaktifler	36
2.5.4.1. Reaktif 1: 6N HCl (1:1 v/v)	36
2.5.4.2. Reaktif 2: 0,002N KI+ I_2	36
2.5.4.3. Reaktif 3: 0,02N Sodyum tiyosülfat	36
2.5.4.4. Reaktif 4: 0.02N KIO_3	36
2.5.4.5. Reaktif 5: %0,5 Nişasta çözeltisi	36
2.5.5. Kondisyonlama çözeltisi	36
2.5.6. Nitrit ve nitrat analizinde kullanılan reaktifler	36
2.5.6.1. Sentetik deniz suyu	36
2.5.6.2. Sistem yıkama suyu	36
2.5.6.3. Amonyum klorür.....	37
2.5.6.4. Renk reaktifi	37
2.5.6.5. Stok bakır sülfat çözeltisi (2%).....	37
2.5.6.6. Hidroklorik asit (6N)	37
2.5.7. Amonyum analizinde kullanılan reaktifler	37
2.5.7.1. Sentetik deniz suyu	37
2.5.7.2. Sistem yıkama suyu	37
2.5.7.3. Özel yıkama çözeltisi.....	37
2.5.7.4. Kompleks oluşturma reaktifi	37
2.5.7.5. Salisilat reaktifleri.....	38
2.5.7.6. Fenat reaktifleri.....	38

2.5.8. Fosfat analizinde kullanılan reaktifler	38
2.5.8.1. Sentetik deniz suyu	38
2.5.8.2. Sistem yıkama suyu	38
2.5.8.3. Özel yıkama suyu.....	38
2.5.8.4. Stok antimon potasyum tartarat	38
2.5.8.5. Amonyum molibdat	38
2.5.8.6. Askorbik asit	38
2.5.9. Silikat analizinde kullanılan reaktifler	39
2.5.9.1. Sentetik deniz suyu	39
2.5.9.2. Sistem yıkama suyu	39
2.5.9.3. Özel yıkama suyu.....	39
2.5.9.4. Stok antimon potasyum tartarat	39
2.5.9.5. Amonyum molibdat	39
2.5.9.6. Oksalik asit	39
2.5.9.7. Askorbik asit	39
3. BULGULAR.....	40
3.1. Fizikokimyasal Parametreler.....	40
3.1.1. Tuzluluk.....	41
3.1.2. Sıcaklık	41
3.1.3. pH	42
3.1.4. Çözünmüş oksijen	43
3.1.5. Askıda katı madde	44
3.1.6. Sülfat.....	45
3.1.7. Toplam sülfid.....	45
3.1.8. Mn ve Fe.....	46
3.1.9. Besin Elementleri	46
3.1.10. Klorofil- <i>a</i>	49
3.2. Mikrobiyolojik Analizler	50
3.2.1. Aerobik heterotrofik bakteri (AHB) sayısı	50
3.2.2. Sülfat indirgeyen bakteri (SRB) sayısı	52
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	55
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	71
FORMLAR	
Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygunluk Yazısı ve Eki	

ÖZET

MARMARA DENİZİ'NİN FARKLI BÖLGELERİNDE SUBOKSİK VE ANOKSİK SEVİYELERİN ARAŞTIRILMASI

Seben YÜCEL

Marmara Denizi Türk Boğazlar Sisteminin bir parçası olan ve Türkiye sınırları içerisinde kalan önemli bir havzadır. Bulunduğu konum itibarıyla Karadeniz'i diğer denizlere bağlayan tek bir deniz yolu olması, yoğun nüfuslu ve endüstrinin oldukça gelişmiş olduğu bir bölgede yer alması nedeniyle karasal girdilere ve kirliliğe maruz kalmaktadır. Bu durumun beraberinde getirdiği oksijensizleşme gibi problemler özellikle derin deniz çukurlarında ve sirkülasyonun az olduğu körfezlerde özellikle doğu basende suboksik ve anoksik koşulların oluşmasına yol açmaktadır.

Bu koşulların araştırılması denizel ortamların sürdürülebilirliği ve gerekli önlemlerin alınabilmesi açısından önem arz etmektedir. Dolayısıyla denizel ortamda öncelikli olarak takip edilmesi ve değerlendirilmesi gereken kritik parametreler (pH, çözünmüş oksijen, toplam çözünmüş sülfür, sülfat, redoks potansiyeli vb.) vardır. Bunlardan en önemlisi ise bisülfid ve hidrojen sülfür varlığına da ışık tutacak olan sülfat indirgeyen bakterilerin tespit edilmesidir.

Bu çalışmada Marmara Denizi'nde uzun yıllardır takip edilen Çınarcık Çukuru (45C) ve İzmit Körfezi (İZ17) bölgelerinde görülmeye başlanan suboksik ve anoksik seviyeler araştırılmıştır ve aynı zamanda su kolonunda ilk defa sülfat indirgeyen bakteri tespiti yapılmıştır. 45C ve İZ17 istasyonlarında suboksik koşullar saptanmıştır ve ayrıca İZ17 istasyonunda dip derinliklerde anoksik koşulların varlığı tespit edilmiştir. Bu bölgelerde 45C ve İZ17 istasyonlarında sırasıyla en yüksek sülfat indirgeyen bakteri miktarı 85000 h/ml ve 13300 h/ml en düşük miktar ise 3000 h/ml ve 20 h/ml olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Marmara Denizi, Çınarcık Çukuru, İzmit Körfezi, Sülfat İndirgeyen Bakteriler, Hidrojen Sülfür

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SUBOXIC AND ANOXIC LEVELS IN DIFFERENT REGIONS OF THE SEA OF MARMARA

Seben YÜCEL

The Sea of Marmara is an important basin that is a part of the Turkish Straits System and remains within the borders of Turkey. It is exposed to terrestrial inputs and pollution due to its location, which is the only sea route connecting the Black Sea to other seas, and being located in a densely populated and highly developed industry. Problems such as deoxygenation caused by this situation lead to the formation of suboxic and anoxic conditions, especially in deep pits and in gulfs where circulation is low.

Investigation of these conditions is important in terms of sustainability of marine environments and taking necessary precautions. Therefore, there are critical parameters (pH, dissolved oxygen, total dissolved sulfur, sulfate, redox potential, etc.) that should be monitored and evaluated primarily in the marine environment. The most important of these is the detection of sulfate-reducing bacteria, which will also shed light on the presence of bisulfide and hydrogen sulfide.

In this study, suboxic and anoxic levels observed in the Çınarcık Basin (45C) and İzmit Bay (İZ17) regions, which have been followed for many years in the Marmara Sea, were investigated, and at the same time, sulfate-reducing bacteria were detected for the first time in the water column. Suboxic conditions were detected at 45C and İZ17 stations, and it was also determined that anoxic conditions started at the bottom depths at İZ17 station. In these regions, at 45C and İZ17 stations, the highest amount of sulfate-reducing bacteria was determined as 85000 cell/ml and 13300 cell/ml, and the lowest amount was determined as 3000 cell/ml and 20 cell/ml.

Key Words: The Sea of Marmara, Çınarcık Basin, İzmit Bay, Sulfate Reducing Bacteria, Hydrogen Sulfur

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Çalışma yapılan istasyonların konum bilgileri	17
Tablo 2. Postgate B besiyerinde kullanılan kimyasallar ve miktarları	25
Tablo 3. Marine agar besiyerinde kullanılan kimyasallar ve miktarları	26
Tablo 4. İZ17 ve 45C istasyonlarına ait farklı derinliklerden alınan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal parametreleri	31
Tablo 5. İZ17 istasyonunda farklı derinliklere ait besin elementleri ölçümleri (μM)	40
Tablo 6. 45C istasyonunda farklı derinliklere ait besin elementleri ölçümleri (μM)	40

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Marmara Denizi, Çanakkale ve İstanbul Boğazına ait koordinatlar	3
Şekil 2. Türk boğazlar sistemi hacim akışları (1986-1989 yılları arasına ait veriler km ³ y ⁻¹ biriminde verilmiştir ve parantez içindeki değerler hesaplamalarda kullanılan ortalama tuzluluk değerleridir) (Beşiktepe ve arkadaşlarının 1994'te yaptığı çalışmadan alınmıştır).	4
Şekil 3. İzmit Körfezi'nin Marmara Denizi'ndeki konumu (Google Earth Pro'dan alınmıştır).	12
Şekil 4. İzmit Körfezi'nin Batı-Merkez-Doğu kısımları (Google Earth Pro'dan alınmıştır). ..	13
Şekil 5. Çınarcık Çukuru'nun Marmara Denizi'ndeki konumu (Google Earth Pro'dan alınmıştır).	14
Şekil 6. Çalışma istasyonlarının (45C ve İZ17) harita üzerinde gösterimi	16
Şekil 7. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'ne ait R/V Alemdar II araştırma gemisi.....	17
Şekil 8. R/V Alemdar II gemisine ait CTD + rozet sistemi görüntüleri (A,B), Niskin şişelerinden su numunelerinin alınması (C).	18
Şekil 9. Türbidimetrik yöntem ile standart SO ₄ ⁻² konsantrasyonlarıyla hazırlanmış standart eğri ve denklemi.....	21
Şekil 10. AHB ve SRB'lerin izolasyonun gerçekleştirilmesi	23
Şekil 11. AHB kolonilerinin sayımı	23
Şekil 12. SRB'lerin sayımı	24
Şekil 13. Postgate B besiyerinde SRB üremesine bağlı olarak gözlemlenen renk değişimi (solda verilen siyah renk değişiminin gözlemlendiği üreme pozitif tüp ve sağda verilen renk değişiminin gözlemlenmediği üreme negatif tüp).	24
Şekil 14. İZ17 ve 45C istasyonlarında su kolonu boyunca çalışılan derinliklere aite tuzluluk değerleri.....	32
Şekil 15. İZ17 ve 45C istasyonlarında su kolonu boyunca çalışılan derinliklere ait sıcaklık değerleri.....	33
Şekil 16. İZ17 ve 45C istasyonlarında su kolonu boyunca çalışılan derinliklere ait pH değerleri.....	34
Şekil 17. İZ17 ve 45C istasyonlarında ait su kolonu boyunca çalışılan derinliklere ait çözünmüş oksijen değerleri.....	35
Şekil 18. İZ17 ve 45C istasyonlarında ait su kolonu boyunca çalışılan derinliklere ait AKM değerleri.....	36
Şekil 19. 45C istasyonuna ait Demir ve Mangan değerleri.....	37
Şekil 20. İZ17 istasyonunda su kolonu boyunca çalışılan derinliklerdeki besin elementlerine ait grafikler.....	38
Şekil 21. 45C istasyonunda su kolonu boyunca çalışılan derinliklerdeki besin elementlerine ait grafikler.....	39
Şekil 22. İZ17 ve 45C istasyonlarına ait klorofil-a değerleri.....	41
Şekil 23. İZ17 istasyonuna ait toplam AHB sayılarının derinliklere göre değişimi.....	42
Şekil 24. 45C istasyonuna ait toplam AHB sayılarının derinliklere göre değişimi.....	43
Şekil 25. İZ17 istasyonuna ait SRB sayılarının derinliklere göre değişimi.....	44
Şekil 26. 45C istasyonunda çalışılan derinliklerdeki SRB sayılarının derinliklere göre değişimi.....	45

SİMGE LİSTESİ

°C	: Santigrat
g	: Gram
kob/ml	: koloni oluşturan birim/mililitre
L	: Litre
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
m	: Metre
km	: Kilometre
µg	: Mikrogram
µl	: Mikrolitre
µM	: Mikromolar
km ²	: Kilometre kare
h/L	: Hücre/L
h/cm ³	: Hücre/cm ³

1.GİRİŞ

Ülkemizin üç tarafı denizlerle çevrilidir ve bu denizler biyojeokimyasal özellikleri, ekosistemleri ve hidrodinamikleri açısından birbirinden farklı özellikteki denizlerdir (Yılmaz, 2002). Bir iç deniz olan Marmara Denizi, Türkiye sınırları içerisinde yer alan tek denizdir (Erturaç, 2002). Ayrıca, bulunduğu konum nedeniyle (çeşitli endüstri ve ticaret merkezlerinin önemli bir bölümünün etrafında yer alması), birçok ekosistemi ve insan sağlığını etkilemesi açısından büyük önem taşımaktadır (Taşdemir, 2002).

Türkiye nüfusunun yaklaşık %20'si Marmara Bölgesi'nde yaşamakta olup, Marmara Denizi kıyı bölgesi, bölge nüfusunun %87'sini barındırmaktadır (Karabayır ve diğerleri, 2020). Bölgedeki endüstriyel faaliyetlerin Marmara Denizi üzerinde önemli bir çevresel etkisi vardır. Özellikle İstanbul, İzmit Körfezi, Haliç ve Tekirdağ'da yoğun sanayi faaliyetleri Marmara Denizi'ne çok fazla kirlilik yükü getirmektedir (Karabayır ve diğerleri, 2020). Ayrıca, Marmara Denizi'ne karasal girdinin artışı, pandemi kaynaklı kirlilik, aşırı ve plansız avlanma, deniz ortamındaki artan trafik gibi faktörler, ekosistemin dengesini etkilemekte ve ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Nitekim müsilaj oluşumu da Marmara Denizi için bu etkilerin bir sonucu olarak görülmektedir. Müsilaj, biyofilm gibi deniz tabanında yumuşak (çamur, kum vb.) ve sert (kayalık, taşlık, vb.) zeminde birikerek ya da bu alanları kaplayarak canlıların yaşamsal faaliyetlerine engel olmaktadır. Bu durum deniz ortamında yaşayan birçok canlının ani ölümlerine neden olmaktadır. Ayrıca, deniz ortamındaki oksijen seviyesinin hızlı bir şekilde tüketilmesine ve oksijensiz (anoksik) koşulların oluşmasına yol açmaktadır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, Marmara Denizi'ndeki alt tabaka sularının çözünmüş oksijen değerlerinin son 20 yıla göre azaldığını ve özellikle Yalova Çınarcık kıyılarının 1,5-2 km açığında yer alan Çınarcık Çukuru'nda 1 mg/L'nin altına düştüğünü göstermektedir (Ediger ve diğerleri, 2016). 2021 yılında Mayıs ve Haziran tarihlerinde İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'ne ait R/V Alemdar araştırma gemisi ile yapılan çalışmada, Marmara Denizi'nin kuzeydoğusu ve İzmit Körfezinden su numuneleri alınmış ve bazı ön analizler yapılmıştır. Uzun yıllardır takip edilen İzmit Körfezi'nde daha önce 110 m civarında görülen hidrojen sülfür varlığının, 34 m derinliğe kadar ulaştığı tespit edilmiştir (Alemdar, 2021).

Marmara Denizi'ndeki derin çukurlar ve sirkulasyonun az olduğu körfezlerde çözünmüş oksijen değerleri oldukça düşüktür. Marmara Denizi'nin en derin noktalarından biri olan ınarcık ukuru (1289 m) ve sanayinin ve yoğun nüfusun çevrelediği İzmit Körfezi, znmş oksijen düşüklüğünün görüldüğü önemli noktalardır. Bu nedenle su kolonunda çözünmüş oksijen değerinin 1 mg/L altına düştüğü seviyelerde, suboksik ve anoksik bölgelerin araştırılması açısından kritik olan su kalite parametrelerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bununla birlikte söz konusu seviyelerin ve buna bağlı tabakalaşmanın belirlenmesi ve araştırılması için bu bölgelerde gerçekleşen biyojeokimyasal döngülerin araştırılmasında kullanılan parametrelerin tayini (besin elementleri, sülfat, hidrojen sülfür vb.) znmş oksijen, pH, oksidasyon redüksiyon potansiyeli gibi parametrelerin kullanıldığı bilinmektedir. Buna ek olarak bu bölgelerin belirlenmesinde sülfat indirgeyen bakterilerin (SRB) ve aerobik hetetrofik bakterilerin (AHB) tespiti önem arz etmektedir. Bu nedenle bu tez çalışmasında, ınarcık ukuru (45C) ve İzmit Körfezi (İZ17) istasyon noktalarındaki suboksik ve anoksik seviyelerin araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda bu istasyonlara ait farklı derinliklerde su örnekleri alınmış ve bu su örneklerinin pH, çözünmüş oksijen, hidrojen sülfür, sülfat ve diğer su kalite parametreleri araştırılmıştır. Ayrıca bu bölgelerde su kolonu fiziksel oşinografi profiline bağlı olarak değerlendirilen farklı derinliklerdeki sülfat indirgeyen bakterilerin ve aerobik hetetrofik bakterilerin tespiti ve sayımı yapılmıştır. Denizel ortamda biyojeokimyasal döngülerde önemli rol oynayan sülfat indirgeyen bakterilerin Marmara Denizi'ndeki bu iki önemli bölgede su kolonunda (ınarcık ukuru-45C ve İzmit Körfezi orta basen-İZ17) tespitine yönelik bir çalışmaya henüz rastlanmamıştır.

1.1. Marmara Denizi'nin Genel Özellikleri

Marmara Denizi, Avrupa ve Asya kıtaları arasında yer alan, Çanakkale Boğazı ile Akdeniz'e ve İstanbul Boğazı ile Karadeniz'e bağlanan küçük bir havzadır (Ünlüata ve diğerleri 1990; Beşiktepe ve diğerleri 1993; Beşiktepe ve diğerleri, 1994). İstanbul ve Çanakkale Boğazı ile birlikte Türk Boğazlar Sistemi'ni (TSS – Turkish Straits System) oluşturan Marmara Denizi (Beşiktepe, 1994), 40°00' ve 41°1'K ile 26°15' ve 29°55'E koordinatları arasında konumlanır (Öztürk, 2002). Yüzey alanı 11.500 km² ve hacmi 3,378 km³ olan Marmara Denizi'nin kıyı şeridi 972 km'dir (Beşiktepe 1994; Polat ve diğerleri, 1997; Öztürk, 2002).

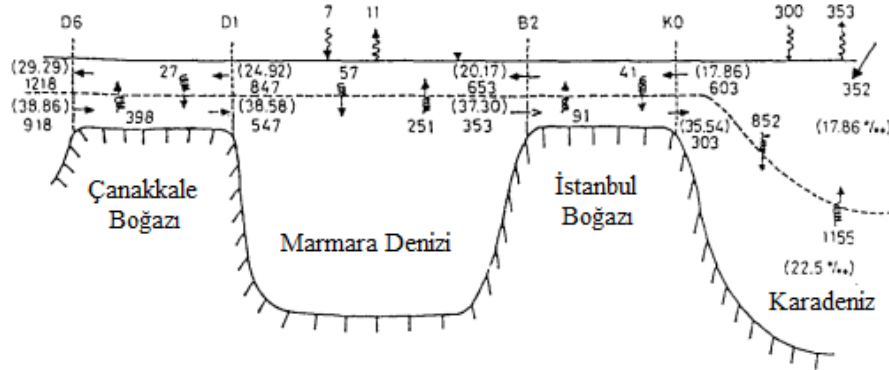
Bu sistemin parçası olan Çanakkale Boğazı'nın uzunluğu yaklaşık 62 km'dir. Genişliği ise 1,3 ile 7 km arasında değişmekte olup ortalama 4 km civarındadır ve güneybatıda giderek genişleyen ve derinleşen bölümüyle Marmara Denizi'ne bağlanmaktadır (Beşiktepe, 2003). İstanbul Boğazı'nın uzunluğu ise yaklaşık 31 km'dir. Genişliği 0,7 ile 3,5 km arasında değişen ve yüzeyde ortalama 1,3 km olan dar, uzun ve sık bir boğazdır (Oğuz ve diğerleri, 1990). Marmara Denizi ile Çanakkale ve İstanbul Boğazları, Türk Boğazlar Sistemi olarak, Akdeniz ve Karadeniz sularının değişiminin gerçekleştiği oşinografik bir sistem oluşturmaktadır (Ünlüata ve diğerleri, 1990).



Şekil 1. Marmara Denizi, Çanakkale ve İstanbul Boğazına ait koordinatlar

1.2. Marmara Denizi'nin Oşinografik Yapısı

Marmara Denizi'nde iki tabakalı su sistemi bulunmaktadır (Şekil 2) (Beşiktepe, 1994). Karadeniz'in düşük tuzluluk seviyesine sahip suları (yaklaşık olarak binde 18) İstanbul Boğazı'ndan Marmara Denizi'ne gelerek üst tabakayı oluştururken, Akdeniz'in tuzlu (binde yaklaşık 38) suları Çanakkale Boğazı'ndan gelerek alt tabaka suyunu oluşturmaktadır (Ünlüata ve diğerleri, 1990, Beşiktepe, 1994). Bu iki tabaka arasında yaklaşık 25 m derinlikte oluşan keskin bir yoğunluk ara yüzü, gelen iki farklı su türünü birbirinden ayırır (Beşiktepe ve diğerleri, 1994). Bu sistemde, üst tabaka sularının kalış süresi 4-5 ay iken, alt tabaka sularının kalış süresi 6-7 yıldır (Beşiktepe ve diğerleri, 1994; Algan ve diğerleri, 2004). Marmara Denizi dinamik bir yapıya sahiptir, bu iki tabakalı sistemde Karadeniz'e gelen akış, yıllık bazda Karadeniz'e akan tuzlu Marmara suyunun hacminden neredeyse iki kat daha fazladır. Boğazlardaki karşı akımlar, ilkbahar-yaz başında artmakta ve daha sonra, komşu denizlerdeki su dengesi koşullarına, özellikle Karadeniz'e tatlı su girişi durumuna bağlı olarak, sonbaharda belirgin şekilde zayıflamaktadır (Tuğrul ve Beşiktepe, 2007).



Şekil 2. Türk boğazlar sistemi hacim akışları (1986-1989 yılları arasında ait veriler km^3/y biriminde verilmiştir ve parantez içindeki değerler hesaplamalarda kullanılan ortalama tuzluluk değerleridir) (Beşiktepe ve arkadaşlarının 1994'te yaptığı çalışmadan alınmıştır).

Marmara Denizi'nde 1986-1994 yılları arasında mevsimsel ve bölgesel olarak ölçülen seki disk derinliği 8 m ile 14 m arasındayken, 2009-2014 yılları arasında 4 m ile 10 m arasında değişmektedir (Ediger ve diğerleri, 2016). 2014-2019 yılları arasında ise kıyı sularında 2-17 m,

açık denizlerde 4,5-17 m arasında değiştiği ve düşük seki disk derinliği değerlerinin daha çok körfezlerde ve nehir ağızlarında görüldüğü belirtilmiştir (ÇŞİDB, TUBİTAK-MAM, 2021). Denizin ortalama sıcaklık değeri 15-16 C° iken, pH'ı 8-8.2 arası olarak belirlenmiştir (Artüz ve diğerleri, 2007; Kalıpcı ve diğerleri, 2021).

Marmara Denizi'nin yüzey sularında çözünmüş oksijen değerleri incelendiğinde, konsantrasyon miktarı 225-350 μM aralığında gözlemlenirken, denizin alt sularında çözünmüş oksijen değerleri genellikle 30-80 μM aralığında değişmektedir (Yılmaz, 2002). Batı baseninde çözünmüş oksijen değerleri, doğu basene göre kısmen daha yüksektir. Batı basende mevsimsel ortalama çözünmüş oksijen değerleri 50-80 μM aralığında değişirken, doğu baseninde 30-50 μM seviyelerine düşmektedir (Polat ve diğerleri, 1998; Oğuz, 2002; Yılmaz, 2002). Çanakkale Boğazı'ndan giren oksijen bakımından zengin olan Akdeniz suları, sahip olduğu bu oksijenin %70'ini henüz batı basenine ulaşmadan kaybetmektedir ve doğu basenine doğru bir miktar daha oksijen düşüşü meydana gelmektedir (Oğuz, 2002; Yılmaz, 2002). Marmara Denizi'nin üst tabaka sularının biyokimyasal özellikleri değişkenlik gösterirken, alt tabaka sularının yatay akıntılar sebebiyle kısmen homojen hale gelmesi nedeniyle kimyasal özelliklerde gözlenen değişimler çok daha azdır (Yılmaz, 2002). Birincil üretim üst tabaka suları ile sınırlıdır (Polat ve diğerleri, 1997; Çoban-Yıldız ve diğerleri, 2000). Fotosenteze bağlı partikül organik madde (POM) üretimi üst tabaka suları ile sınırlıyken (güneş ışığının ancak ara tabakaya kadar ulaşabilmesi sebebiyle), alt tabaka sularının partikül organik madde kaynağı üst tabakadan çökenler ve bunlarla beslenen bakterilerdir (Yılmaz, 2002). Marmara Denizi, Karadeniz'den yıllık olarak toplam $1,9 \times 10^6$ ton TOK (toplam organik karbon), $2,7 \times 10^5$ ton TN (toplam azot) ve $2,8 \times 10^4$ ton TP (toplam fosfor) almaktadır (Tuğrul ve Polat, 1995).

1.3. Denizlerde Suboksik ve Anoksik Koşulların Oluşumu

Okyanusların oksijen içeriğinin yaklaşık %1-2'sini, 20. yüzyılın ortasından bu yana kaybettiği tahmin edilmektedir ve dünya çapında yarı kapalı denizlerde, kıyı sularında ve açık okyanuslarda meydana gelen bu çözünmüş oksijen kaybı okyanus oksijensizleşmesi (okyanusun deoksijenasyonu) olarak tanımlanmaktadır (Limburg ve diğerleri, 2020). Oksijensizleşmeye neden olan sebepler genellikle, küresel ısınmaya bağlı olarak su sıcaklıklarının artması, artan tabakalaşma, ötrofikasyon ve insan kaynaklı etkiler (tarımsal faaliyetler, kanalizasyon girdileri, fosil yakıtlar vb.) gösterilmektedir (Falkowski ve diğerleri, 2011; Laffoley ve Baxter, 2019). Oluşan bu oksijensizleşme durumu anoksik, hipoksik ve

suboksik koşulların meydana gelmesine neden olmaktadır (Keeling ve diğerleri, 2010). Hipoksik koşullar, fizyolojik ve ekolojik süreçlerin bozulduğu düşük oksijen (2 mg/L) durumu olarak tanımlanırken (Limburg ve diğerleri, 2020), suboksik koşullar hem oksijen hem de sülfür konsantrasyonlarının son derece düşük olduğu koşul olarak tanımlanmıştır (Murray ve diğerleri, 1999). Anoksik koşullar ise çözünmüş oksijenin olmadığı koşul olarak tanımlanmıştır (Millero, 2000). Çok düşük oksijen konsantrasyonlarında, biyojeokimyasal döngüde büyük değişiklikler meydana gelir. Oksijen seviyesi yaklaşık olarak 5 $\mu\text{mol/kg}$ altına düştüğünde, nitrat, solunum için önemli bir hale gelir ve birincil elektron alıcısı olarak oksijenin yerini alır (suboksik koşul). Nitrat tükendiğinde, biyojeokimyasal süreçte sülfatı sülfüre dönüştüren sülfat indirgeyen mikroorganizmalar hakim olma eğilimindedir (Keeling ve diğerleri, 2010).

Ülkemize kıyısı bulunan denizlerden biri olan Karadeniz, dünyanın en büyük yarı kapalı anoksik havzasıdır (Stanev ve diğerleri, 2018). Karadeniz’de oksik, suboksik ve anoksik koşullar görülmektedir. Karadeniz'deki suboksik bölge (Murray ve diğerleri, 1989), oksik yüzey tabakası ile sülfürlü derin sular arasında önemli bir biyojeokimyasal geçiş bölgesidir (Stewart ve diğerleri, 2007). Anoksik koşullar aynı zamanda Baltık Denizi ve Cariaco Havzası gibi yalıtılmış kapalı havzalarda da meydana gelmektedir (Keeling ve diğerleri, 2010).

1.4. Marmara Denizi’nde Suboksik ve Anoksik Bölgelerin Oluşma Nedenleri

Marmara Denizi bir iç deniz olması ve bulunduğu konum itibarıyla maruz kaldığı çevresel ve insan kaynaklı etkiler ve denizin yapısı göz önünde bulundurulduğunda zamanla çözünmüş oksijen seviyelerinde değişiklikler meydana gelmekte ve suboksik - anoksik koşulların oluşması kaçınılmaz bir hal almaktadır. Çözünmüş oksijen değerinin 2 mg/L altına düşmesi buradaki ekosistem açısından oldukça olumsuz bir durumu ifade eder ve Marmara Denizi derin çukurları bu eşiğin altında kalırken, körfez içlerinde oksijen seviyeleri düşüktür (ÇŞİDB, TÜBİTAK-MAM, 2021). Marmara Denizi’nde, soğuk mevsimde yüzey katmanında 10-12 mg/L kadar yüksek olan çözünmüş oksijen konsantrasyonları, derin havzalardaki alt katman sularında şiddetli bir şekilde 1-2 mg/L’lik suboksik seviyelere düşmektedir. Buna ek olarak anoksi ise, yüksek miktarda organik madde ve/veya besin maddelerinin sağlandığı haliçlerde ve su karışımının ve gelgit değişiminin kuvvetle kısıtlandığı yarı kapalı su kütlelerinde meydana gelmektedir (Balkıs, 2003). Yarı kapalı ve sirkülasyonun kısıtlı olduğu körfezlerde, çift tabakalı sistemde eklenince, özellikle alt tabaka suyunda tazelenme süresinde

artış meydana gelmektedir. Sanayi ve evsel atıkların havzaya katılmasıyla da bu durum, çevresel problemler de meydana getirmektedir.

1.5. Marmara Denizi'ndeki Mikroorganizma Popülasyonu

Mikrobiyal toplulukların bileşimlerinin araştırılması, biyojeokimyasal döngülerde bakteri ve arke popülasyonlarının rolünü anlamada önem arz etmektedir (Çetecioğlu, 2006). Türk Boğazlar Sistemi'nin bir parçası olan Marmara Denizi, Akdeniz ve Karadeniz arasında önemli bir biyolojik koridor görevi görmektedir (Özgür ve diğerleri, 2008; Altuğ ve diğerleri, 2011). Dolayısıyla bu sistemin mikrobiyal topluluklarının hem suda hem de sedimentte araştırılması önem arz etmektedir. Marmara Denizi bulunduğu konum itibariyle çeşitli kirleticilere maruz kalmaktadır. Ayrıca Marmara Denizi'ne gerçekleştirilen deşarjlarda buradaki bakteri popülasyonunu etkilemektedir. Ek olarak Marmara Denizi'nin hidrografik özellikleri, bakteriyolojik çalışmalar için ilginç bir ortam sunmaktadır (Karaman, 2020). Deşarj noktalarında, kıyısız bölgelerde ve bazı dönemlerde ise hidrodinamik koşullara bağlı olarak kıyıda açıklıkta bölgelerde bakteri bolluğunun artmakta olduğu rapor edilmiştir. Marmara Denizi'nin sahip olduğu bu keskin iki tabakalı su sistemi, bakterilerin bolluk değerinde de keskin bir tabakalaşmaya sebep olduğu belirtilmektedir (Yılmaz, 2008).

2008 yılında Yılmaz tarafından Marmara Denizi'nde yapılan bir çalışmada, üst tabakadaki bakteri bolluğu $4,7 \times 10^8$ h/L olarak tespit edilmiştir (Yılmaz, 2008). Ayrıca bakteri bolluk değerlerinde ara tabakadan itibaren kısmen düşüşlerin olduğu, dipteki derinliklerde ise genellikle yüzeye göre daha düşük bakteri sayısı tespit edildiği belirtilmiştir. Ek olarak aynı çalışmada bakteri bolluğunun en yüksek olduğu yerlerin, körfez içleri olarak tespit edildiği belirtilmiştir. Çetecioğlu'nun 2006 yılında yaptığı çalışmada ise, Marmara Denizi'nin anoksik sedimentlerinde çalışılmış, 26 farklı bakteri ve 27 farklı arke türü tespit edilmiştir. Ayrıca Gemlik sedimentlerinde 12 farklı arke türü ve 18 farklı bakteri türü bulunduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada bakteri sayısı olarak en fakir bölgenin İZ17 bölgesi olduğu, ve burada sadece 11 farklı bakteri ve 5 arke türü tespit edildiği belirtilmiştir (Çetecioğlu, 2006). Öte yandan Öztulunç tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada, Marmara Denizi'nin bazı bölgelerine ait sedimentlerde, yüksek oranda sülfat indirgeyen bakterilerin ($1,46 \times 10^9$ - $1,56 \times 10^{10}$ h/cm³) ve methanojenik arkelerin ($1,45 \times 10^9$ - $3,82 \times 10^{10}$ h/cm³) bulunduğu belirtilmiştir.

1.6. Denizlerde Suboksik ve Anoksik Koşulların Belirlenmesinde İncelenmesi Gereken

Kritik Parametreler

Yapılan çalışmalarda suboksik ve anoksik koşulların değerlendirilmesi ve belirlenmesinde çözünmüş oksijenin kritik öneme sahip bir parametre olduğu görülmektedir (Murray ve diğerleri, 1989; Stewart ve diğerleri, 2007). Fakat bu koşulların sağlıklı bir şekilde belirlenebilmesi için çözünmüş oksijen verilerini tek başına değerlendirmek güvenilir bir sonuç sağlamamaktadır. Bu nedenle toplam çözünmüş sülfür ve buna bağlı olarak hidrojen sülfürün tespiti, sülfat miktarı, oksidasyon ve redüksiyon potansiyeli, pH, sıcaklık, besin elementleri gibi diğer kritik parametrelerinde çözünmüş oksijen ile birlikte değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Ayrıca fiziksel ve kimyasal değişimlerin yanında, aerobik ve anaerobik bakterilerin varlığının belirlenmesi suboksik ve anoksik koşulların değerlendirilmesinde destekleyici bir göstergedir. Yaşadıkları sucul ortamlarda besin döngülerinde gerekli biyokimyasal dönüşümlerin gerçekleştirilmesinde önemli roller üstlenen bu canlılar, bu dönüşümlere bağlı olarak bulundukları ortamlar hakkında bilgi sağlamaktadırlar (Paerl ve Pinckney, 1996). Dolayısıyla bu parametreleri ve birbiri ile bağlantılarını kavramak bu koşulların belirlenmesinde önem arz etmektedir (Yücel ve diğerleri, 2022). Bu parametrelerin bazıları aşağıda tanımlanmıştır.

1.6.1. Çözünmüş oksijen

Deniz ortamının çözünmüş oksijen içeriği yaşam ve su kalitesi için önemli bir parametre olmasının yanı sıra biyojeokimyasal süreçlerde önemli bir rol oynamaktadır (Balkıs, 2003). Çözünmüş oksijen, sucul ortamlarda balıklar, omurgasızlar ve sudaki tüm organizmaların erişebildiği oksijen miktarıdır. Çoğu su bitkisi ve hayvanı hayatta kalmak için oksijene ihtiyaç duyar. Örneğin; balık, 5 mg/L'den daha az çözünmüş oksijene sahip suda uzun süre yaşayamamaktadır (Bozorg-Haddad, 2021). Çözünmüş oksijen miktarı mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir. Ayrıca fotosenteze, rüzgârlara ve akıntılara bağlı olarak artmakta ve hayvansal veya bitkisel organizmaların solunum olayına bağlı olarak azalmaktadır (Kocataş, 2017).

1.6.2. Hidrojen sülfür (H₂S)

Denizlerde çukur ve kapalı bölgelerde (su hareketinden yoksun bölgeler) oluşan bir gaz olan hidrojen sülfür, normal şartlarda renksiz ve yanıcı bir gazdır. Bu gaz aynı zamanda zehirli

bir maddedir (Kocataş, 2017; Öztürk, 2017). Artan oksijen tüketimi, hidrojen sülfür varlığına neden olmaktadır (Balkıs, 2003). Deniz suyunda hidrojen sülfür artışı, bu katmanlarda yaşayan ve metabolik faaliyetleri için oksijene gereksinim duyan tüm canlıların ölmesine yol açtığı gibi, diğer aerobik canlılarında yaşamasına da engel teşkil etmektedir (Artüz ve diğerleri, 2007). Bu ortamlarda sadece bazı bakteriler yaşayabilmektedir (Kocataş, 2017). Hidrojen sülfür miktarının tayini suboksik-anoksik geçişlerin belirlenmesinde çözünmüş oksijen kadar önem arz etmektedir.

1.6.3. pH ve ORP (Oksidasyon redüksiyon potansiyeli)

Sudaki pH logaritmik olarak hidrojen iyonu konsantrasyonunun göstergesidir (Kocataş, 2017). Deniz suyunda pH değeri normal koşullarda 8,0 – 8,3 arasında değişiklik göstermektedir (Gerengi, 2008). Oksijen miktarının vertikal değişimleriyle, pH değerlerinin vertikal değişimi genellikle uyum göstermektedir (Kocataş, 2017).

Redoks potansiyeli, bir sistemin genel indirgeme veya oksitleme kapasitesini tanımlamak için kullanılmaktadır (Søndergaard, 2009). ORP, ortamdaki yükseltgen madde ve indirgeyicilerin konsantrasyonundan belirlenmektedir. İnorganik yükseltgen maddeler arasında oksijen, nitrat, nitrit, mangan, demir, sülfat ve karbon dioksit bulunurken, indirgeyici maddeler arasında çeşitli organik substratlar ve indirgenmiş inorganik bileşikler yer almaktadır (DeLaune ve Reddy, 2005).

1.6.4. Aerobik ve anaerobik bakteri yoğunluğu

Deniz ortamında yaşayan mikroorganizmalar (prokaryotlar, ökaryotlar ve arkeler) geniş bir çeşitliliğe sahiptir (Yılmaz, 2008). Deniz ortamında gerçekleşen kimyasal döngülerde bakterilerin önemli bir rol oynadığı bilinmektedir (Altuğ ve diğerleri, 2020). Mikroorganizmalar tarafından oksijenli veya oksijensiz ortamlarda gerçekleştirilen bazı biyojeokimyasal süreçlere örnek olarak denitrifikasyon, sülfat indirgenmesi, azot fiksasyonu ve nitrifikasyon gibi süreçler verilebilir (Ulloa ve diğerleri, 2012). Bu yolla bakteriler, ortamda çözünmeden bulunan çoğu bileşiği başka organizmalar tarafından değerlendirilebilecek formlara dönüştürmektedir ve denizel ekosistemlerde sürdürülebilirliği sağlamaktadırlar (Altuğ ve diğerleri, 2020). Ayrıca denizel mikroorganizmalar çevresel değişimlere yanıt olarak hızla gelişebilirler ve yaşadıkları ortamdaki değişimlerin belirteci olarak kullanılabilirler (NOAA, Oceanexplorer, 2022).

Deniz ortamında bakteri popölasyonlarının aktivitesinin, fonksiyonunun ve bolluğunun belirlenmesi oldukça önemlidir (Böllmann ve Martienssen, 2020). Dolayısıyla ortamlara göre dağılım ve büyüme gösteren aerobik ve anaerobik bakterilerin incelenmesi, diğer kritik parametreler ile birlikte değerlendirilmesi, o bölgedeki anoksik ve suboksik koşulların belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle özellikle deniz ortamındaki anoksik koşulların belirlenmesinde sülfat indirgeyen bakterilerin rolü oldukça büyüktür.

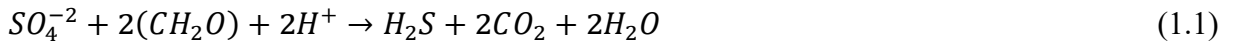
1.7. Sülfat İndirgeyen Bakteriler

Sülfat indirgeyen bakteriler, anaerobik ortamlarda çeşitli temel fonksiyonlara katkıda bulunan bir prokaryot grubudur (Castro ve diğerleri, 2000). Çoğunlukla gram negatif türleri bulunan SRB'lerin, gram pozitif spor oluşturan, bakteriyel ve arkeal termofilik türleride vardır. Bu bakteriler sarmal, düz, küresel, çubuk gibi şekillerde bulunabilirler (Castro ve diğerleri, 2000). Çapları 0.4-3 µm olan SRB'ler, tek veya küme olarak bulunurlar. Hareketli veya hareketsiz olabilen SRB'lerin hareketleri, taşıdıkları flagelladan kaynaklanmaktadır. SRB'lerin filamentli formlarında ise hareket kayma şeklindedir. Üremeleri için, SRB'ler pH 4 gibi yüksek asitli ortamlarda bulunurken, pH 9,5 gibi alkali ortamları tolere edebilirler (Barton ve Tomei, 1995).

Sülfat indirgeyen bakteriler, anaerobik karasal ve su ortamlarına yaygın olarak dağılmıştır. Deniz, nehir ağzı ve tuzlu bataklık sedimentlerinin yanı sıra, tuzlu ve aşırı tuzlu göller ve göletler, yüksek sülfat içeriğinden dolayı doğadaki sülfat indirgeyicilerin en kalıcı ve önemli habitatlarıdır (Fauque, 1995). Kükürt bileşikleride deniz ekosistemlerinde bol miktarda bulunur ve mikrobiyal indirgeme ve oksidasyon için önemlidirler. Kükürt döngüsünün biyojeokimyası, kükürtün -2'den +6'ya kadar var olabileceği çok çeşitli oksidasyon durumları nedeniyle karmaşıktır. Sülfat ve sülfür, doğada bulunan en yaygın inorganik kükürt formlarıdır (SamKamaleson ve diğerleri, 2021). Deniz suyunun esas elementlerinden biri olan sülfat aynı zamanda kükürdün en okside halidir (Kaçar, 2014; Kocataş, 2017). İnorganik sülfatın organik veya inorganik sülfüre indirgenmesi ve sülfürün sülfata oksidasyonu biyolojik kükürt döngüsü olarak bilinmektedir. Bu döngü asimilasyon ve disimilasyon olarak iki kısımdan oluşmaktadır ve disimilasyon kısmı, mikrobiyal sülfat ve kükürt indirgemesi gibi indirgeyici süreçleri içermektedir (Fauque, 1995). Sülfatın yoğun olarak bulunduğu bölgelerde hidrojen sülfürün tespit edilmesi, o bölgede sülfat indirgeyen bakterilerin varlığına işaret etmektedir (Kaçar, 2014). Ayrıca sülfat indirgeyicilerin varlığı, demir sülfürün çökmesine bağlı olarak suyun ve

sedimentin kararması (siyah bir renk alması) ve hidrojen sülfürün kokusu (çürük yumurta kokusu) ile kolayca ortaya çıkmaktadır (Fauque, 1994; Vester ve Ingvorsen, 1998; Kaçar, 2014).

SRB'lerin dünya üzerinde geniş dağılımının gösterilmesiyle, bu organizmaların sayısız etkileşim potansiyeli sayesinde doğada önemli roller sergiledikleri kabul edilmiştir (Barton ve Tomei, 1995). Bu bakteriler, anaerobik ortamlarda organik maddenin mineralizasyonunda büyük ekolojik öneme sahiptir (Vester ve Ingvorsen, 1998; Kaçar, 2014). Okyanusların bileşimini ve dünya yüzeyindeki redoks dengesini yöneten en önemli süreçlerden biri, bakteriyel olarak deniz suyunda sülfatın hidrojen sülfüre indirgenmesidir (LokaBharathi, 2004). Sülfat indirgemesi yoluyla oluşan büyük miktardaki hidrojen sülfürün %80-95'i sediment içinde geri dönüştürülür ve kademeli olarak sülfata oksitlenir (Zhang ve diğerleri, 2017). Bu nedenle SRB'ler deniz sedimentlerindeki kükürt ve karbonun biyojeokimyasal döngüsünün kilit katılımcılarıdır. Aynı zamanda sığ sularda ve kıyısız deniz sedimentlerinde toplam karbon oksidasyonunun %50 kadarından sorumludurlar (Matsui ve diğerleri, 2004, Kaçar, 2014). Toplam organik karbonun %50'sinin devrinden sorumlu olmakla birlikte, aynı zamanda diğer kemolitotrofik ve fototrofik bakteriler için yeterli elektron kaynağı sağlamaktadırlar (LokaBharathi, 2004). Sülfat indirgeyen bakterilerin, sülfatı indirgeyerek hidrojen sülfür oluşturması Denklem 1.1'de verilmiştir. Bunun dışında tiyosülfat (S_2O_3), sülfid (H_2SO_3) ve diğer kükürt bileşiklerini de son elektron alıcısı olarak kullanabilmektedirler (Ünsal, 2016; Kováč ve diğerleri, 2018). Ayrıca, H_2S konsantrasyonlarının çok yüksek olduğu yerlerde, H_2S SRB'lerin hücre zarlarına nüfuz edebilmekte ve metabolik aktivitelerini etkileyebilmektedir (Mudryk ve diğerleri, 2000).



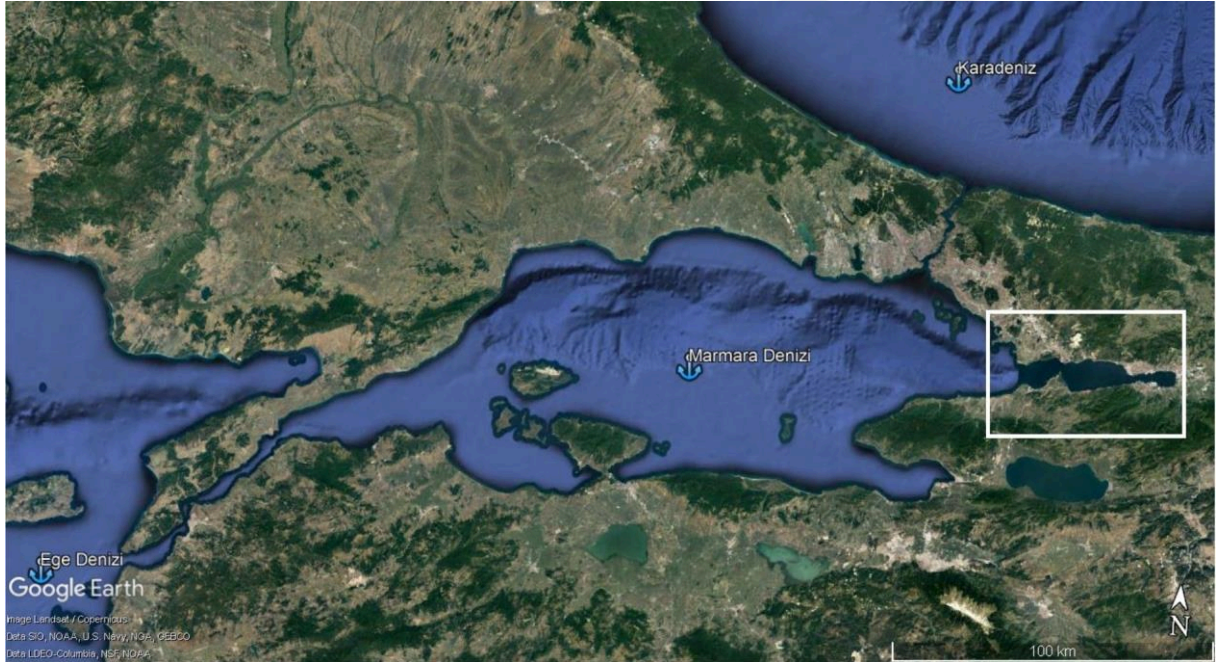
Uzun yıllar boyunca sadece birkaç SRB türü olduğu ve bu bakterilerin büyümek için yalnızca laktat veya pirüvat kullandığı düşünülmüştür. SRB'nin elektron donörleri için farklı bileşiklerin kullanılmasında önemli çeşitliliğe sahip olduğu açıktır (Gu ve diğerleri, 2019). SRB'ler uygun enerji kaynağı olarak şekerler, alkol, amino asitler ve aromatik bileşikler vb. kullanabilmektedirler (Hansen, 1993). Sülfat indirgemesi başlangıçta bu bakterilerle bağlantılı

tek inorganik reaksiyon iken, şimdi SRB'nin çevrelerindeki birçok kimyasalla etkileşime girdiği bilinmektedir (Jia ve diğerleri, 2019).

Marmara Denizi'nde de özellikle İzmit Körfezi'nin derin çukurlarında ve iç kesimlerinde, anoksik koşullar özellikle yaz aylarında görülmektedir (Müftüoğlu, 2008). Marmara Denizi Çınarcık Baseni dip sularında çözünmüş oksijen seviyesinin %90 azaldığı ve son dönemlerde gerçekleştirilen saha çalışmalarında yine dip sularda hidrojen sülfür ölçüldüğü belirtilmiştir. Ayrıca son yıllarda gözlemlenen, dip sularda hidrojen sülfür oluşumu ve azalan nitrat değerleri, bu basende organik maddenin degradasyonunda nitrat ve hatta dönemsel olarak kısmen olsa da sülfat iyonlarının elektron alıcısı olarak kullanıldığına işaret ettiği belirtilmiştir (Yücel ve diğerleri, 2021). Bu noktada Marmara Denizi'ndeki bakteriyel döngüler ve özellikle sülfat indirgeyen bakterilerin rolü önem kazanmaktadır.

1.8. İzmit Körfezi

Marmara Denizi'nde yer alan körfezlerden biri olan İzmit Körfezi, Marmara Denizi'nin güneydoğusunda yer almaktadır (Şekil 3). Yarı kapalı bir su kütlesi olan körfez, yoğun nüfuslu ve endüstriyel faaliyetlerin merkezi olan bir bölge tarafından çevrelenmektedir (Tolun ve diğerleri, 2001).



Şekil 3. İzmit Körfezi'nin Marmara Denizi'ndeki konumu (Google Earth Pro'dan alınmıştır)

İzmit Körfezi yaklaşık 45 km uzunluğundadır ve genişliği 1.8 - 9 km arasında değişmektedir. Körfez yaklaşık 261 km² yüzölçümüne sahiptir ve batı, doğu ve merkez olarak üç bölgeden oluşmaktadır (Şekil 4) (Morkoç ve diğerleri, 2001; Morkoç ve diğerleri, 2007). Körfezin en küçük parçası olan doğu bölgesi yaklaşık 15 km uzunluğunda ve maksimum derinliği yaklaşık 35 m'dir. Körfezin en büyük parçası olan merkez bölümü ise yaklaşık 20 km uzunluğundadır. Kuzey kesimde ortalama 60 m derinliğe sahipken, güney kesimde derinliği yaklaşık 180 m'ye ulaşmaktadır. Körfezin batı bölümü Marmara Denizi'ne doğru eğimli olup, genişliği yaklaşık 16 km olan ağız kısmı 200 m derinliğe kadar yükselmektedir (Morkoç ve diğerleri, 2007).



Şekil 4. İzmit Körfezi'nin Batı-Merkez-Doğu kısımları (Google Earth Pro'dan alınmıştır)

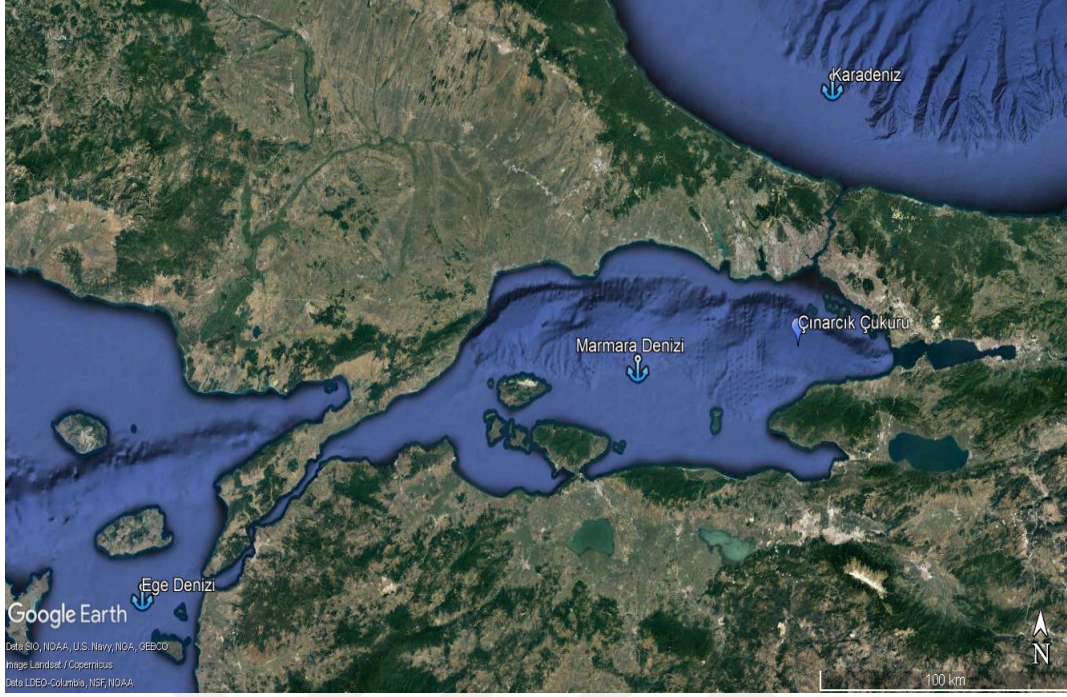
İzmit Körfezi oşinografik olarak Marmara Denizi'nin bir uzantısıdır ve burada da iki tabakalı su sistemi görülmektedir (Balkıs, 2012). İzmit Körfezi'nin üst tabakası genel olarak çözünmüş oksijen açısından doygunluk seviyesindedir (Balkıs, 2012). Az tuzlu yüzey sularından sürekli partikül organik madde girişi olması nedeniyle, tuzlu alt tabaka suları her zaman 0,2 ile 2,0 mg/L arasında değişen hipoksiye maruz kalır. En düşük değerler Temmuz - Eylül döneminde iç koyda bulunabilir ve aynı dönemde, haloklin tabakasının hemen altında oksijen minimum değerinde de görülebilmektedir (Morkoç ve diğerleri, 2007). Sirkülasyonun

kısıtlı olduğu bu yarı kapalı körfezlerde, iki tabakalı su sisteminin de görölmesi, suyun yenilenme süresinde özellikle alt tabaka sularında artış meydana getirmektedir (Müftüoğlu, 2008). Morkoç ve arkadaşları, 2001 yılında yaptıkları bir çalışmada, İzmit Körfezi'ne günlük olarak yaklaşık 24 ton BOİ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı) ve 19,5 ton AKM (Askıda Katı Madde) taşıyan toplam 163.000 m³ atık suyun giriş yaptığını belirtilmişlerdir (Morkoç ve diğerleri, 2001). İzmit Körfezi'nin iç kesimleri ve derin çukurlarında anoksik koşulların oluştuğu, ayrıca (Balkıs, 2003; Müftüoğlu, 2008), oksijen seviyesinin ölçüm limitlerinin altına düştüğü bu bölgelerde, hidrojen sülfür varlığı da tespit edilmiştir (MEMPİS, 2007).

1.9. Çınarcık Çukuru

Marmara Denizi'nin kuzey kesimindeki üç topografik çöküntü, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun denize doğru oluşan uzantılarıdır (Beşiktepe ve diğerleri, 1994). Bu kısımda bulunan üç çukur, batıdan doğuya Tekirdağ, Orta ve Çınarcık çukuru olarak adlandırılır ve maksimum 1250 m'ye kadar su derinliğine sahiptir (Carton ve diğerleri, 2007).

Çınarcık Çukuru, Marmara Denizi'nde bulunan derin çukurlardan biridir (Şekil 5) ve İstanbul'un güneyinde (Yalova Çınarcık kıyılarının 1,5-2 km açığında) yer alan ve kama şeklinde derin bir deniz depresyonudur (Alpar, 2000). Yaklaşık 50 km uzunluğunda, 20 km genişliğinde ve 1250 m derinliğinde olan bu çukur, 3 km'den fazla kalınlıkta Pliyosen ile Kuvaterner çökelleri ile doludur ve 575 km² abisal alana sahiptir (Okay ve diğerleri, 2000; Çağatay ve diğerleri, 2016).



Şekil 5. Çınarcık Çukuru'nun Marmara Denizi'ndeki konumu (Google Earth Pro'dan alınmıştır)

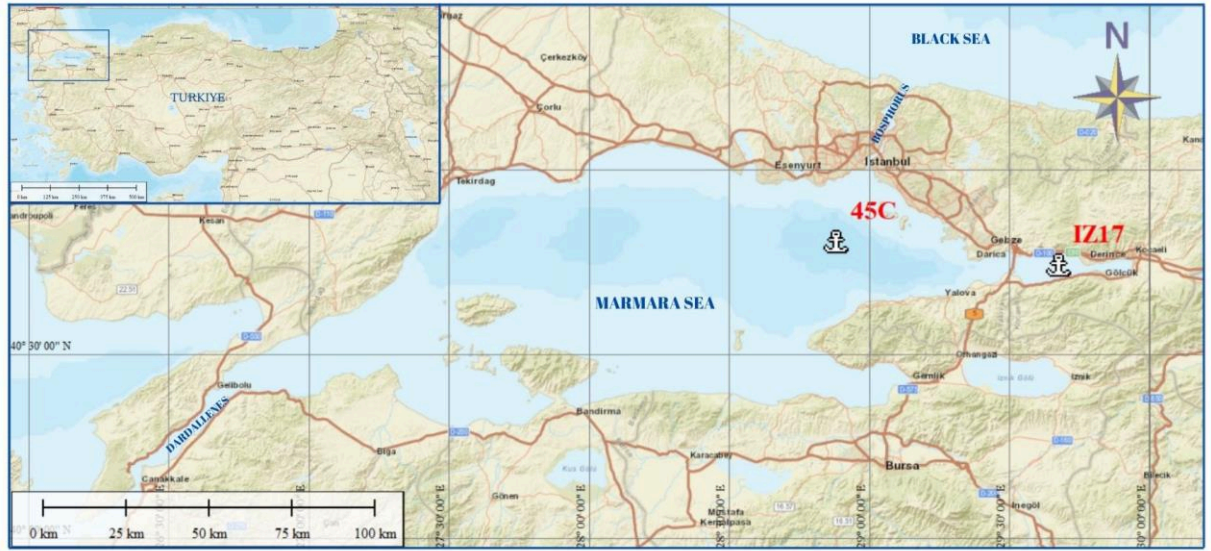
Çınarcık Çukuru'nda, Marmara Denizi'nde bulunan iki tabakalı su sistemi ve benzer oşinografik özellikler görülmektedir. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 2014 ve 2019 yılları arasında yürüttüğü çalışmada, Marmara Denizi doğu derin bölgesini temsilen seçilen Çınarcık Çukuru'nda alt su katmanlarındaki çözünmüş oksijen seviyeleri şu şekilde değerlendirilmiştir; >1000 m derinlikte değerlerin, 2 mg/L seviyelerinden <0.5 mg/L seviyelerine gerilemiş olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte 200-300 m derinliklerde benzer eğilim görülürken, 90-100 m derinliklerde belirgin bir düşüş izlenmemesi bu derinlikte suların Akdeniz kökenli sularla daha sık tazelendiğini düşündürdüğü belirtilmiştir (ÇŞİDB ve TÜBİTAK-MAM, 2021).

2. MATERYAL METOT

2.1. Çalışma Alanı

Bu tez çalışması, Marmara Denizi'nin Çınarcık çukuru (45C istasyonu) ve İzmit Körfezi Karamürsel açıkları (İZ17 istasyonu) olmak üzere iki farklı bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen İZ17 istasyonu, körfezin merkez bölümünde yer almaktadır ve en derin noktası yaklaşık olarak 160 m'dir.

Marmara Denizi'nde Yalova Çınarcık kıyılarındın 1,5-2 km açığında yer alan Çınarcık çukurunun ise derinliği yaklaşık 1250 m'dir (Doğan ve Kurter, 1999, Okay ve diğerleri 2000) Bu tez çalışması kapsamında İZ17 istasyonunda çalışılan en derin nokta 155 m iken 45C istasyonunda ise 900 m'dir. Çalışma istasyonlarına ait konum bilgileri Şekil 7 ve Tablo 1'te detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Çalışma istasyonlarının (45C ve İZ17) harita üzerinde gösterimi

Tablo 1. Çalışma yapılan istasyonların konum bilgileri

İstasyon	Tarih	Boylam	Enlem	Toplam Derinlik (m)
İZ17	Mayıs 2022	29 37.01 E	40 43.30 N	155
45C	Haziran 2022	28 53.31 E	40 47.28 N	1250

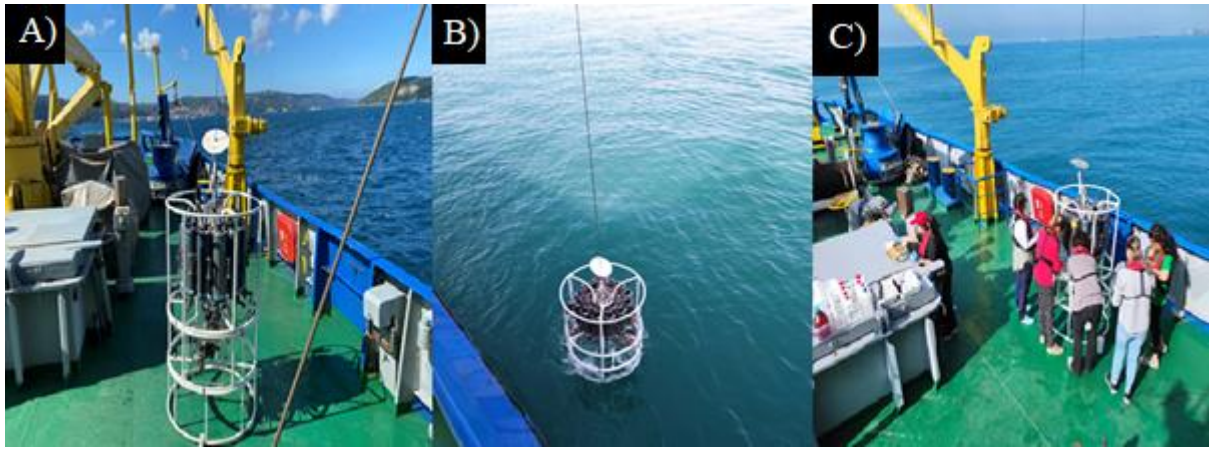
2.2. Örneklerin Alınması ve Saklanması

Bu tez çalışması kapsamında yapılan örneklemelerin tümü İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'ne ait araştırma gemisi “R/V Alemdar II” ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 8).



Şekil 7. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü'ne ait R/V Alemdar II araştırma gemisi

Örneklemler, 2022 yılında Mayıs ve Haziran ayları olmak üzere iki kez yapılmıştır. Örnekler, Tablo 1 'de bilgileri verilen istasyonlardan CTD (Conductivity-Temperature-Depth/İletkenlik-Sıcaklık-Derinlik) ve rozet sistemine bağlı niskin şişeleri (General Oceanics Model 1010 Niskin Water Sampler, 5L) ile alınmıştır (Şekil 9). Mayıs ayında İZ17 istasyonundan 75, 110, 125, 135 ve 151 m olmak üzere 5 farklı derinlikten örnek alınmıştır. Aynı anda 45C istasyonundan da 1205 m derinlikten örnek alınmıştır. Haziran ayında ise 45C istasyonundan 250, 500, 750 ve 900 m olmak üzere 4 farklı derinlikten su örnekleri alınmıştır. Alınan su örneklerinin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri yapılmıştır.



Şekil 8. R/V Alemdar II gemisine ait CTD + rozet sistemi görüntüleri (A,B), Niskin şişelerinden su numunelerinin alınması (C).

2.3. Fiziksel ve Kimyasal Analiz Yöntemleri

Bu tez çalışmasında seçilen istasyonlarda ve suboksik-anoksik koşulların araştırılması için bazı su kalite parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler; pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen (ÇO), ışık geçirgenliği, tuzluluk, askıda katı madde (AKM), bulanıklık, toplam sülfür, sülfat ve besin elementleri analizidir.

2.3.1. Tuzluluk

Örneklere ait tuzluluk değerleri, örnek alımı sırasında CTD cihazı ile ölçülmüştür.

2.3.2. Sıcaklık

Su örneklerinin sıcaklık değerleri, örnek alımı sırasında CTD cihazı ile ölçülmüştür.

2.3.3. Işık Geçirgenliği

Belirlenen istasyonlarda, deniz suyunun ışık geçirgenliği örnek alımı sırasında seki disk yöntemi ile ölçülmüştür.

2.3.4. Çözünmüş oksijen (ÇO) analizi

Su örneklerindeki çözünmüş oksijen miktarı, Winkler yöntemi kullanarak belirlenmiştir. Ayrıca CTD cihazı ile örnek alımı sırasında da çözünmüş oksijen ölçümü yapılmıştır. Yöntemin uygulanmasında öncelikle belirlenen derinlik sayısına uygun olarak belirli hacimlerdeki Winkler şişeleri (50±1 ml) kullanılmıştır. Örnekler alımı güverteye çıkartıldıktan hemen sonra niskin şişelerinden su örneğinin hava ile temasını önleyen şeffaf bir boru yardımı ile Winkler şişelerine, boru şişenin dibine gelecek şekilde ve bir miktar su taşıyarak alınmıştır. İçerisinde hava baloncuğu kalmayacak şekilde Winkler şişelerine alınan su örneklerine sırasıyla, 1 ml Mn₂Cl ve 1 ml KI+KOH sırasıyla eklenmiş ve şişelerin ağzı kapatılarak örnekler homojen bir hal alana kadar çalkalanmıştır. Alt-üst çalkalama işleminden sonra yaklaşık 20 dk çökmenin (Mn(OH)₂ çökeltisi) tamamlanması için beklenmiştir. Bu sürenin sonunda şişelere 1 ml sülfürik asit (H₂SO₄) eklenerek şişeler birkaç defa alt üst yapılarak karıştırılmıştır. Örneklerin her biri 250 ml'lik erlen meyere alınarak üzerine 3-5 damla nişasta çözeltisi damlatılmıştır. Erlen hafifçe karıştırılarak homojen bir renk elde edilmiş ve daha sonra örnekler sodyum tiyosülfat çözeltisi ile titre edilmiştir. Çıkan sarfiyat değeri kayıt edilmiş ve aşağıda verilen denklem yardımı ile ÇO miktarı hesaplanmıştır (APHA, AWWA, WPCP, 1985). Bu işlemler iki tekrarlı olarak yapılmıştır.

$$\text{Şişede ÇO konsantrasyonu (mg/l)} = \frac{0,025N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ Sarfiyat (ml)}}{204} \times 0,2 \times 1000 \quad (2.1)$$

2.3.5. Askıda katı madde (AKM)

Su örneklerindeki askıda katı madde (AKM) analizi için cam mikrofiber filtre kağıtları (Whatman GF/C 47), 105°C'ye ayarlanmış etüvde 1 sa bekletilmiştir. Daha sonra filtre kağıtlarının ilk tartımları yapılarak kayıt edilmiştir ve filtreler hava ile teması önlenecek şekilde alüminyum folyo ile paketlenmiştir. Su örnekleri niskin şişelerinden direkt olarak 1 L'lik plastik şişelere alınmış ve alınan su örneği önceden hazırlanan filtrelerden süzölmüştür. Süzme işlemi sonunda filtre kağıtları dikkatlice katlanarak tekrar paketlenmiş ve laboratuvar ortamına getirilene kadar -18°C'de saklanmıştır. Laboratuvar ortamına getirilen filtre kağıtları, 105°C'ye

ayarlanmış etüvde 1 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutulan filtre kağıtlarının son tartımları yapıldıktan sonra aşağıda verilen denklem ile askıdaki katı madde miktarı hesaplanmıştır (APHA, AWWA, WPCP, 1980).

$$AKM \text{ mg/L} = \frac{(A - B) \times 1000}{V} \quad (2.2)$$

A = Filtre kağıdı son tartımı (g),

B = Filtre kağıdı ilk tartımı (g),

V = Süzülen su hacmi (L).

2.3.6. pH analizi

Örneklerin pH değerleri, BENTA210 Benchtop pH/Mv meter cihazı ile ölçülmüştür. Ölçümler saha çalışması sırasında yapılmıştır.

2.3.7. Toplam sülfid analizi

Su örneklerine ait toplam sülfür miktarı ölçülmeden önce, örneklerin alınacağı 250 ml'lik balon jojeler azot gazından geçirilmiştir ve ağızları hava ile teması önlenecek şekilde kapatılmıştır. Belirlenen istasyonlardan su varış numunelerinin alınma saatine göre balon jojelere 1 ml HCl ve 10 ml KI+KI₂ eklenmiştir. Su örnekleri niskin şişesinden direkt olarak plastik bir boruya bağlı cam pipet yardımıyla, hava ile teması önlenecek şekilde alınmıştır. Su numuneleri alınırken cam pipetin ucunun eklenen reaktiflerin içinde kalmasına dikkat edilmiştir. Su örnekleri balon jojelere alındıktan 30 dk sonra titrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Titrasyon işlemi sırasında balon jojedeki su örnekleri 250 ml'lik erlenmeyere aktarılmış ve örneklerin üzerine 3-5 damla nişasta çözeltisi eklenmiştir. Ekleme sonrası örneklerin renginin maviye dönüştüğü gözlemlenmiştir. Daha sonra örnekler sodyum tiyosülfat çözeltisi eklenerek çözelti şeffaf bir renk alana kadar Metrohm Dosimat 876 Plus cihazı ile titrasyon yapılmıştır. Cihazda okunan sarfiyat kaydedilmiştir ve su örneklerindeki toplam sülfür miktarı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır (4500-S2: F).

$$S^{2-} \text{ mg/L} = \frac{[(A \times B) - (C \times D)] \times 16000}{\text{ml örnek}} \quad (2.3)$$

A = İyodin çözeltisinin hacmi (ml),

B = İyodin çözeltisinin normalitesi,

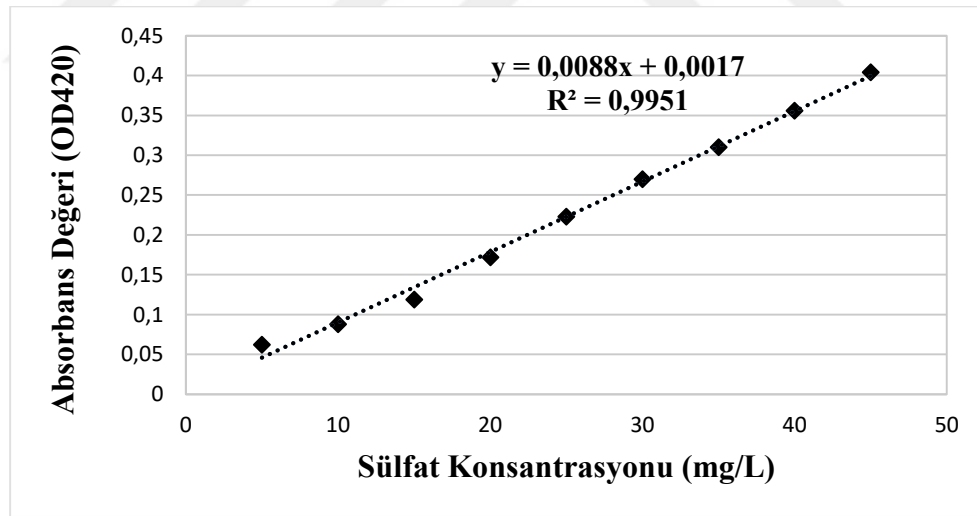
C = Na₂S₂O₃ çözeltisinin hacmi (ml),

D = Na₂S₂O₃ çözeltisinin normalitesi.

2.3.8. Sülfat analizi

Su örneklerindeki toplam sülfat miktarı turbidimetrik yöntem ile belirlenmiştir. Alınan 1 ml su numunesi üzerine 99 ml saf su eklenerek örnekler 1:100 oranında seyreltilmiştir. Hazırlanan örneklere 5 ml kondisyonlama çözeltisi eklenmiş ve manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Bu karışımın içerisine 0.5 gr BaCl₂.2H₂O eklenmiş ve 1 dk boyunca manyetik karıştırıcı ile sabit hızda karıştırılmıştır. Daha sonra çözeltinin absorbansı 420 nm’de 4 dakika boyunca 30 saniyede bir olmak üzere spektrofotometre cihazında (Shimadzu UV-1800 Spectrophotometer) ölçülmüştür.

Standart eğriyi oluşturmak için 5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L, 25 mg/L, 30 mg/L, 35 mg/L, 40 mg/L, 45 mg/L konsantrasyonlarda standart Na₂SO₄ çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltilere de aynı turbidimetrik yöntem uygulanmış ve kör olarak distile su kullanılmıştır. Elde edilen absorbans değerleri ile standart grafik oluşturulmuş ve eğri denklemi belirlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 9. Turbidimetrik yöntem ile standart SO₄²⁻ konsantrasyonlarıyla hazırlanmış standart eğri ve denklemi

2.3.9. Mangan (Mn) ve Demir (Fe) Analizi

Alınan 500 ml’lik su örnekleri 0.5 L GFC asetat filtreden süzölmüştür. Süzülen su örneklerinin Ph’ı 5.80 – 6.10 aralığında olacak şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra ph ayarlaması

yapılan su örneklerine 50 ml kloroform ve 10 ml ammonium 1- pyrrolidinedithiocarbamate (APDC) eklenerek 5 dakika boyunca çalkalanmıştır. Çalkalama işleminden sonra kloroform fazının ayrılması beklenmiştir ve ayrılma işleminden sonra 25 ml kloroform ile ekstrakte edilmiştir. Bu faza daha sonra 1 ml konsantre nitrik asit ilave edilmiştir ve düşük sıcaklıktaki ısıtıcıda organik fazdan sulu faza aktarma yapılmıştır. Bu işlemin sonunda elde edilen örnekler 1M HCl ile 10 ml'ye seyreltilerek, İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi (ICP-OES) ile ölçümleri yapılmıştır (Loring ve Rantala, 1992; Erşan, 2008).

2.3.10. Besin, Elementleri Analizi

Besin elementlerinin (amonyum, nitrit-nitrat, silikat ve o-fosfat) analizi için su numuneleri niskin şişelerinden 50 ml plastik şişelere alınmış ve -20°C'de analiz zamanına kadar saklanmıştır. Analizler, AutoAnalyzer cihazı (BRAN+LUEBBE, Almanya) ile metotlara uygun olarak yapılmıştır.

2.4. Mikrobiyolojik Analizler

İZ17 ve 45C istasyonlarından alınan su örneklerine bazı mikrobiyolojik analizler uygulanmış ve su örneklerindeki aerobik hetetrofik bakteri ve sülfat indirgeyen bakteri miktarları belirlenmiştir. Niskin şişelerinden aktarılan su örnekleri, önceden 121°C ve 1 atm basınçta 15 dk otoklavlanmış, 2 L'lik steril kahverengi şişelere alınmıştır ve örnekler vakit kaybetmeden laboratuvara getirilmiştir.

2.4.1. AHB ve SRB'lerin İzolasyonu

Belirlenen istasyon ve derinliklerden alınan deniz suları, steril 142 mm çapında ve 0.22 µm por çaplı (Sartorius) naylon membran filtreden geçirilmiş ve filtre içerisinde 20 ml steril deniz suyu bulunan steril stomacher poşetine konulmuştur. Daha sonra stomacher poşeti 2 dk boyunca stomacher (Interscience BagMixer) cihazında tutularak filtre üzerinde bulunan bakterilerin suya geçmesi sağlanmıştır. Stomacher poşetindeki konsantre edilmiş numuneden başlanarak 10^{-1} 'den 10^{-6} 'ya kadar sulandırım serileri hazırlanmıştır (Şekil 11).

Hazırlanan sulandırmılardan AHB'lerin izolasyonu ve sayımı için daha önceden hazırlanmış marine agar (Conda, Spain) içeren petrilere, üç tekrarlı ekim yapılmış ve petrilere 7 gün boyunca 27 °C'de inkübe edilmiştir.

Aynı sulandırım serilerinden SRB'lerin izolasyonu ve sayımı için Postgate B besiyeri içeren tüplere ekim yapılmıştır. Her derinlik için ayrı ayrı hazırlanan sulandırım serilerinden en muhtemel sayı (EMS) (MPN, Most Probable Number-En Muhtemel Sayı) yöntemine göre

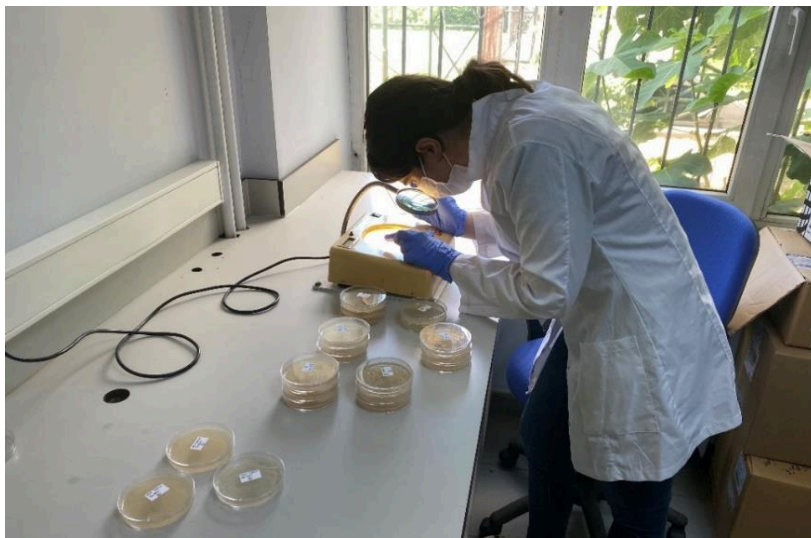
örnekler alınarak tüplere üç tekrarlı olarak ekim yapılmıştır. Daha sonra besiyerinin oksijen ile temasını kesmek için tüplere sıvı parafin eklenmiştir. Hazırlanan tüpler 90 gün boyunca 37°C’lik etüvde inkübe edilmiştir.



Şekil 10. AHB ve SRB’lerin izolasyonun gerçekleştirilmesi

2.4.2. AHB ve SRB’lerin sayımı

AHB’lerin sayımı için 7 günlük inkübasyon süresinin sonunda petrilerde oluşan koloniler koloni sayım cihazı (Funke Gerber Colony Counter) kullanılarak sayılmıştır ve “koloni oluşturan birim-kob” olarak kaydedilmiştir (Şekil 12).

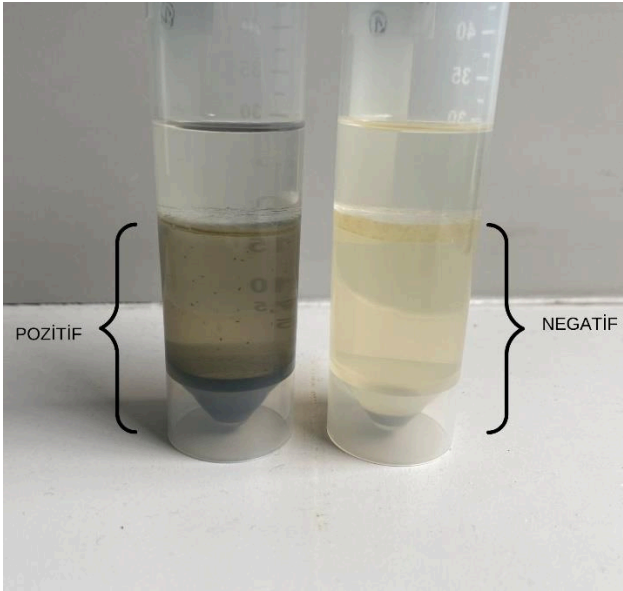


Şekil 11. AHB kolonilerinin sayımı

SRB'lerin sayımı için EMS yöntemi kullanılmıştır (Şekil 13). Ekim yapılan tüpler 90 günün sonunda incelenmiş ve Postgate B besiyerinin renginin siyaha dönmesi, pozitif üreme şeklinde kaydedilmiştir (Şekil 14) (Postgate, 1984).



Şekil 12. SRB'lerin sayımı



Şekil 13. Postgate B besiyerinde SRB üremesine bağlı olarak gözlemlenen renk değişimi (solda verilen siyah renk değişiminin gözlemlendiği üreme pozitif tüp ve sağda verilen renk değişiminin gözlemlenmediği üreme negatif tüp).

2.5. Besiyeri ve Kimyasalların Hazırlanması

2.5.1. Postgate B besiyeri

Postgate B besiyerinin içeriği Tablo 2’de verilmiştir. Besiyeri kimyasalları 1 L distile su ile hazırlanmış ve pH 7.2 ± 0.1 olarak (% 10 m/V NaOH ile) ayarlanmış ve daha sonra 121°C’de 1 atm basınçta, 15 dk steril edilmiştir.

Tablo 2. Postgate B besiyerinde kullanılan kimyasallar ve miktarları

Kimyasalın Adı ve Formülü	Miktarı (g)
Potasyum dihidrojen fosfat – KH_2PO_4	0,5
Amonyum klorür – NH_4Cl	1,0
Kalsiyum sülfat – CaSO_4	1,0
Magnezyum sülfat heptahidrat – $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	2,0
Sodyum laktat – $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$	3,5
Maya özütü	1,0
Resazurin – $\text{C}_{12}\text{H}_7\text{NO}_4$	0,001
Sodyum L-askorbat – $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{Na}$	0,1
Sodyum asetat – $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$	2,46
Sodyum tiyoglikolat – $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2\text{SNa}$	0,1
Demir (III) sülfat heptahidrat – $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,5

2.5.2. Marine agar besiyeri

Marine Agar besiyeri (içeriği Tablo 3.’de verilmiştir) hazırlanmıştır ve 121°C, 1 atm basınçta 15 dk boyunca otoklavda steril edilmiştir. Sterilizasyon işleminden sonra sıvı besiyeri uygun sıcaklığa geldikten sonra, steril ortam koşullarında petrilere dökülmüştür.

Tablo 3. Marine agar besiyerinde kullanılan kimyasallar ve miktarları

Kimyasalın Adı ve Formülü	Miktarı (g)
Pepton	5
Maya özütü	1
Demir sitrat – $C_6H_5FeO_7$	0,1
Sodyum klorür - NaCl	19,45
Magzeyum klorür – $MgCl_2$	8,8
Sodyum sülfat – Na_2SO_4	3,24
Kalsiyum klorür – $CaCl_2$	1,8
Potasyum klorür – KCl	0,55
Sodyum bikarbonat – $NaHCO_3$	0,16
Potasyum bromat – $KBrO_3$	0,08
Stronsiyum klorür – $SrCl_2$	34
Borik asit – H_3BO_3	22
Sodyum silikat – Na_2SiO_3	4
Sodyum florür - NaF	2,4
Amonyum nitrat – NH_4NO_3	1,6
Disodyum fosfat – Na_2HPO_4	8
Agar	15

2.5.3. Çözünmüş oksijen analizinde kullanılan reaktifler

2.5.3.1. Reaktif 1: $MnCl_2$

40 g $MnCl_2 \cdot 5H_2O$ 100 ml distile su ile tamamlanmıştır.

2.5.3.2. Reaktif 2: Alkali iyodür çözeltisi

60 g KI ve 30 g KOH 100 ml distile su ile tamamlanmıştır.

2.5.3.3. Reaktif 3: Sülfirik asit

Hacimce (v:v) %50 olarak hazırlanmıştır.

2.5.3.4. Reaktif 4: Sodyum tiyosülfat

49,5 g $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ tartılmıştır ve 1000 ml distile su ile tamamlanmıştır. Çözelti hazırlandıktan sonra 1/10 oranında seyreltilmiştir.

2.5.3.5. Reaktif 5: Nişasta çözeltisi

1 g nişasta 100 ml sıcak distile suda çözünmüştür.

2.5.3.6. Reaktif 6: İyodat standardı

Hassas terazi kullanılarak 356,7 mg KIO_3 ölçülmüştür ve 1000 ml distile su ile tamamlanmıştır.

2.5.4. Toplam sülfür analizinde kullanılan reaktifler

2.5.4.1. Reaktif 1: 6N HCl (1:1 v/v)

1 hacim HCl 1 hacim distile su ile seyreltilmiştir.

2.5.4.2. Reaktif 2: 0,002N KI+I₂

40 g KI 50 ml distile suda çözölmüştür. Bu çözeltiye, 2,54 g kristal I₂ eklenmiş ve karışım 1000 ml'ye tamamlanmıştır.

2.5.4.3. Reaktif 3: 0,02N Sodyum tiyosülfat

5 g sodyum tiyosülfat 1000 ml distile suda çözölmüştür. Çözelti, koyu renkli şişede saklanmıştır.

2.5.4.4. Reaktif 4: 0.02N KIO₃

Reaktif tartılmadan önce 105°C etüvde 1 saat kurutulmuştur ve 0,3567 g KIO_3 distile suda çözölmüştür ve 1000 ml'ye tamamlanmıştır.

2.5.4.5. Reaktif 5: %0,5 Nişasta çözeltisi

0,5 g nişasta 100 ml sıcak distile suda çözölmüştür ve 1-3 dakika kaynatılmıştır.

2.5.5. Kondisyonlama çözeltisi

Kondisyonlama çözeltisi 7,5 g NaCl, 300 ml distile su, 30 ml %37 HCl, 100 ml %95 etil alkol ve 50 ml gliserol karıştırılarak hazırlanmıştır.

2.5.6. Nitrit ve nitrat analizinde kullanılan reaktifler

2.5.6.1. Sentetik deniz suyu

35 g sodyum klorür (NaCl) ve 0,2 g sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) 800 ml distile suda çözölmüştür ve distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır.

2.5.6.2. Sistem yıkama suyu

6 ml 30% Brij-35 solüsyonu 1000 ml distile suya eklenmiştir.

2.5.6.3. Amonyum klorür

10 g Amonyum klorür (NH_4Cl) 900 ml distile suda çözünmüştür ve pH değeri 25% amonyum çözeltisi ile $8,5 \pm 0,1$ olarak ayarlanmıştır. pH ayarlandıktan sonra çözelti distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır ve 0,5 ml 30% Brij-35 solüsyonu eklenerek karıştırılmıştır.

2.5.6.4. Renk reaktifi

700 ml distile suya 100 ml konsantre fosforik asit (H_3PO_4) ve 10 g sülfanilamid ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$) eklenmiş ve tamamen çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra karışıma 0,5 g N-1-naftiletilediamin dihidroklorür ($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$) eklenmiş ve çözünmesi sağlanmıştır. Çözelti distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmış ve renksiz bir reaktif elde edilmiştir.

2.5.6.5. Stok bakır sülfat çözeltisi (2%)

Analizde kullanılan kadmiyum kolonu için hazırlanan çözelti, 2 g bakır sülfatın (CuSO_4) 60 ml distile suda çözünmesiyle hazırlanmıştır ve çözelti 100 ml distile su ile tamamlanmıştır.

2.5.6.6. Hidroklorik asit (6N)

Çözelti hazırlanırken dikkatlice, 400 mL distile suya 495 mL hidroklorik asit (HCl) eklenmiştir. Karışım oda sıcaklığına soğutulmuştur ve distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır. Çözelti kadmiyum kolonunda kullanılmıştır.

2.5.7. Amonyum analizinde kullanılan reaktifler

2.5.7.1. Sentetik deniz suyu

31 g sodyum klorür (NaCl) 1000 ml distile suda çözünmüştür.

2.5.7.2. Sistem yıkama suyu

2 ml 30% Brij-35 solüsyonu 1000 ml distile suda çözünmüştür.

2.5.7.3. Özel yıkama çözeltisi

83 ml hidroklorik asit (HCl) 1000 ml distile suya dikkatlice eklenmiştir ve 1N HCl çözeltisi hazırlanmıştır.

2.5.7.4. Kompleks oluşturma reaktifi

30 g EDTA (Etilendiamin tetraasetik asit - $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 120 g tri-sodyum sitrat dihidrat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve 0,5 g sodyum nitroprusit ($\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yaklaşık 800 ml distile suda çözünmüştür. Çözelti, distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır ve üzerine 3 ml Brij-35 eklenmiştir.

2.5.7.5. Salisilat reaktifleri

Dikloro izosiyanürik asit: 80 ml distile suda, 3,5 g sodyum hidroksit (NaOH) tamamen çözünmüştür. 0,2 g sodyum dikloroizosiyanürat dihidrat ($C_3Cl_2N_3NaO_3 \cdot 2H_2O$) eklenmiştir ve distile suyla 100 ml'ye tamamlanıp karıştırılmıştır.

Salisilat: 800 ml distile suda 300 g sodyum salisilat ($C_7H_5NaO_3$) çözünmüştür ve çözelti 1000 ml'ye tamamlanmıştır.

2.5.7.6. Fenat reaktifleri

Dikloro izosiyanürik asit: 80 ml distile suda 1 g sodyum dikloroizosiyanürat dihidrat eklenmiştir ve distile suyla 100 ml'ye tamamlanıp karıştırılmıştır.

Fenol: 800 ml distile suda 36 g sodyum hidroksit ve 50 g fenol (C_6H_5OH) çözünmüştür ve çözelti 1000 ml'ye tamamlanmıştır. Koyu renkli şişede saklanmıştır.

2.5.8. Fosfat analizinde kullanılan reaktifler

2.5.8.1. Sentetik deniz suyu

35 g sodyum klorür (NaCl) ve 0,2 g sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) 800 ml distile suda çözünmüştür ve çözelti distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır.

2.5.8.2. Sistem yıkama suyu

8 g/L SDS (Sodyum dodesil sülfat - $NaC_{12}H_{25}SO_4$) içeren distile su kullanılmıştır.

2.5.8.3. Özel yıkama suyu

Sodyum hipoklorit ($NaClO$) solüsyonu distile su ile 1:5 oranında dilüe edilmiş ve kullanılmıştır.

2.5.8.4. Stok antimon potasyum tartarat

2,3 g antimon potasyum tartarat 80 ml suda çözünmüştür ve daha sonra distile su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır ve çözelti iyice karıştırılmıştır.

2.5.8.5. Amonyum molibdat

Konsantre sülfirik asitten (H_2SO_4) 64 ml alınmış ve 500 ml distile suya eklenmiş ve soğuması beklenmiştir. Akabinde içerisinde amonyum molibdattan ($(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4 H_2O$) 6 g çözdürülmüş ve 22 ml stok antimon potasyum tartarat ($K_2Sb_2C_8H_4O_{12} \cdot 3H_2O$) eklenmiştir. Daha sonra çözelti distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır ve iyice karıştırılmıştır.

2.5.8.6. Askorbik asit

8 g askorbik asit ($C_6H_8O_6$) 600 ml distile suda çözünmüş ve bu karışıma 45 ml aseton (C_3H_6O) ve 8 g sodyum dodesil sülfat eklenmiştir. Oluşan çözelti distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır ve iyice karıştırılmıştır.

2.5.9. Silikat analizinde kullanılan reaktifler

2.5.9.1. Sentetik deniz suyu

35 g sodyum klorür (NaCl) ve 0,2 g sodyum bikarbonat (NaHCO_3) 800 ml distile suda çözünmüştür ve distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır.

2.5.9.2. Sistem yıkama suyu

2 g/L SDS (Sodyum dodesil Sülfat) içeren distile su kullanılmıştır.

2.5.9.3. Özel yıkama suyu

Sodyum hipoklorit (NaClO) (5%) çözeltisi distile su ile 1:10 oranında dilüe edilmiştir ve kullanılmıştır.

2.5.9.4. Stok antimon potasyum tartarat

2,3 g antimon potasyum tartarat 80 ml suda çözünmüştür ve distile su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır ve iyice karıştırılmıştır.

2.5.9.5. Amonyum molibdat

15 g amonyum molibdat ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$) 800 ml suda çözünmüştür. Sülfürik asitten (H_2SO_4) 4,2 ml eklenmiştir ve 5 g SDS eklenip karıştırılmıştır. Çözelti, distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmış ve iyice karıştırılmıştır.

2.5.9.6. Oksalik asit

Oksalik asitten ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) 95 g tartılıp 800 ml distile suda çözünmüştür ve sonra çözelti distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmış ve iyice karıştırılmıştır.

2.5.9.7. Askorbik asit

50 g askorbik asit ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) 700 ml distile suda çözünmüştür. Çözelti, distile su ile 1000 ml'ye tamamlanmış ve iyice karıştırılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Fizikokimyasal Parametreler

Yapılan bu çalışmada İZ17 ve 45C istasyonlarında su kolonu boyunca pH, çözünmüş oksijen ve askıda katı madde analizleri yapılmıştır. Bunlara ek olarak CTD ile kolon boyunca sıcaklık, tuzluluk ve klorofil-a değerleri ölçülmüştür. Ayrıca İZ17 istasyonunda 75, 110, 125, 135 ve 151 m derinliklerde,, 45C istasyonunda ise, 250, 500, 750 ve 900 m derinliklerde sülfat ölçümü yapılmış ve bu derinliklerde toplam sülfid miktarı belirlenmiştir (Tablo 4). Her iki istasyonda da tuzluluk ve sıcaklık değerleri derinliklere göre önemli bir değişiklik göstermemiştir. Beklenen şekilde derinlik arttıkça pH değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir (Tablo 4).

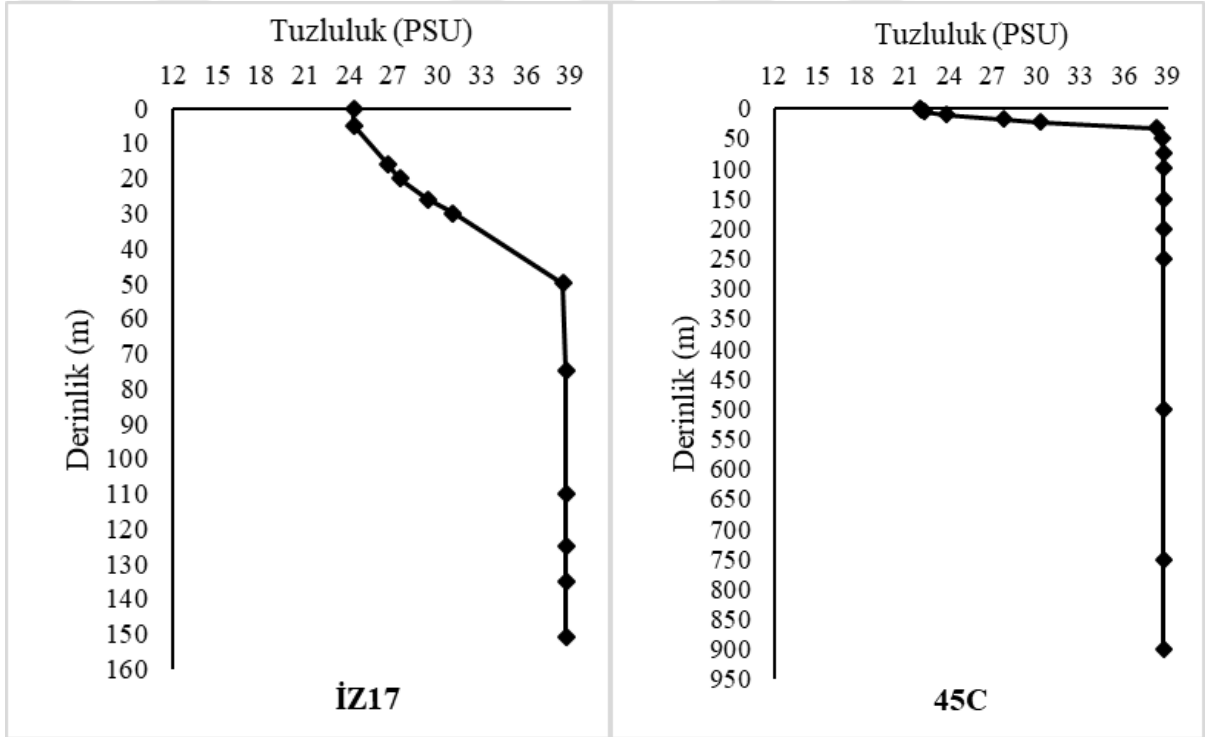
Tablo 4. İZ17 ve 45C istasyonlarına ait farklı derinliklerden alınan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal parametreleri

İstasyon	Derinlik (m)	pH	Tuzluluk (‰)	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	AKM (mg/L)	Sülfat (g/L)	Toplam Sülfid (mg/L)
İZ17	75	8,06	38,5	15,9	1,90	28,8	2,87	<0,03
	110	8,04	38,7	15,9	1,40	29,1	2,99	<0,03
	125	8,04	38,7	15,9	0,96	29,7	2,75	<0,03
	135	8,03	38,7	15,9	1,35	27,2	3,00	0,15
	151	7,86	38,7	15,9	0,94	29,4	2,99	0,25
45C	250	8,12	38,8	14,4	1,62	26,32	2,76	<0,03
	500	8,10	38,8	14,4	2,04	12,50	3,04	<0,03
	750	8,06	38,8	14,4	1,63	21,60	2,83	<0,03
	900	8,03	38,8	14,4	1,64	23,67	3,03	<0,03

3.1.1. Tuzluluk

İZ17 istasyonunda yüzeyde ‰ 23,4 olarak ölçülen tuzluluk değeri, 30 m’de ‰ 31 ve 50 m’de ise ‰ 38,5 seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. En yüksek tuzluluk değeri 75 m’de ‰ 38,7 olarak ölçülmüştür ve 75-151 m’ler (‰ 38,7) arasında tuzluluk değerlerinin değişmediği gözlemlenmiştir (Tablo 4, Şekil 14).

45C istasyonunda tuzluluk değerleri yüzey suyunda ‰ 22 olarak ölçülmüştür. Tuzluluk değerinin 22 m’de ‰ 30,3 ve 32 m’den sonra ‰ 38 değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. En yüksek tuzluluk değeri 75 m’de ‰ 38,7 olarak belirlenmiş ve 75-900 m’ler (‰ 38,7) arasında değişmediği tespit edilmiştir (Tablo 4, Şekil 14).

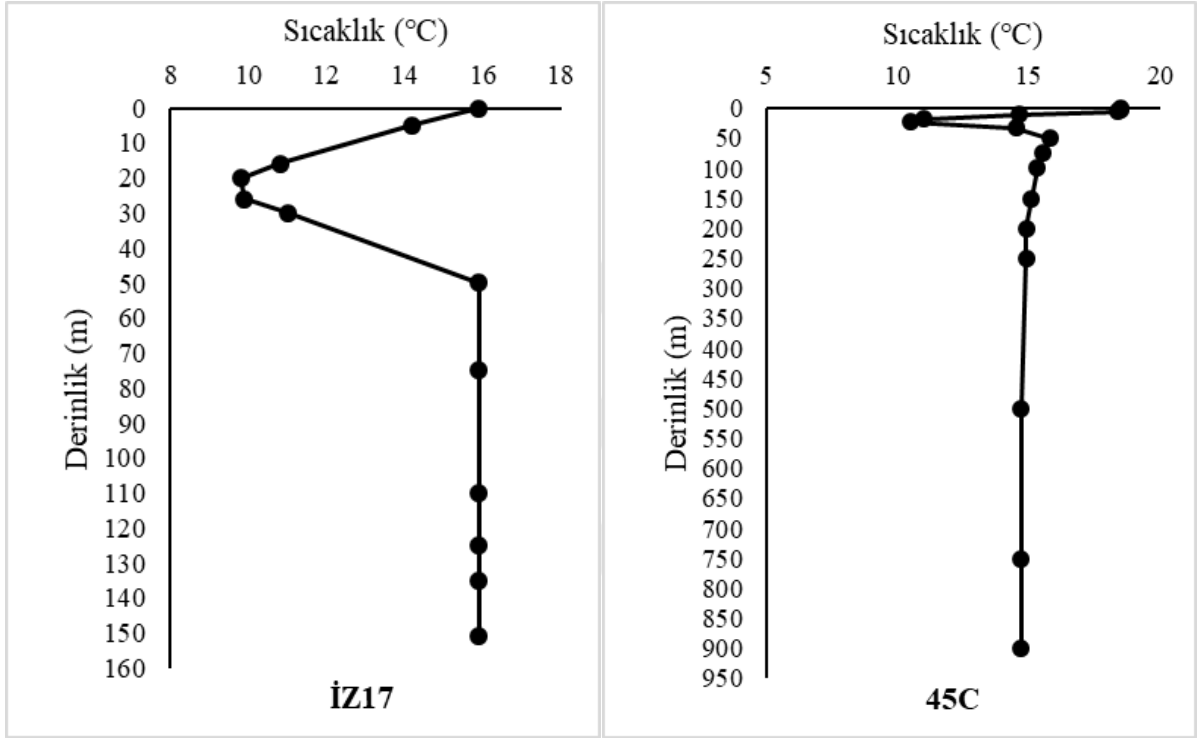


Şekil 14. İZ17 ve 45C istasyonlarında su kolonu boyunca çalışılan derinliklere aite tuzluluk değerleri

3.1.2. Sıcaklık

İZ17 istasyonunda sıcaklık değeri en düşük 20 m’de 9,8 °C olarak ölçülmüştür ve daha sonra sıcaklık değeri artarak 50 m’de 15,9 °C’ye ulaşmıştır ve 50 m ile 151 m arasında sıcaklık değerinin (15,9 °C) sabit kaldığı gözlemlenmiştir (Tablo 4, Şekil 15).

45C istasyonunda ise sıcaklık değeri 22 m’de 10,5 °C (en düşük sıcaklık değeri) seviyesine kadar düştüğü tespit edilmiştir. Daha sonra tekrar yükselerek en yüksek değerine 50 m’de (15,8 °C) ulaştığı saptanmıştır. Sıcaklık değeri 50 m (15,8 °C) ile 500 m (14,7 °C) arasında düşüş göstermiştir ve 500 m’den sonra sabit (14,7 °C) kaldığı gözlemlenmiştir (Tablo 4, Şekil 15).

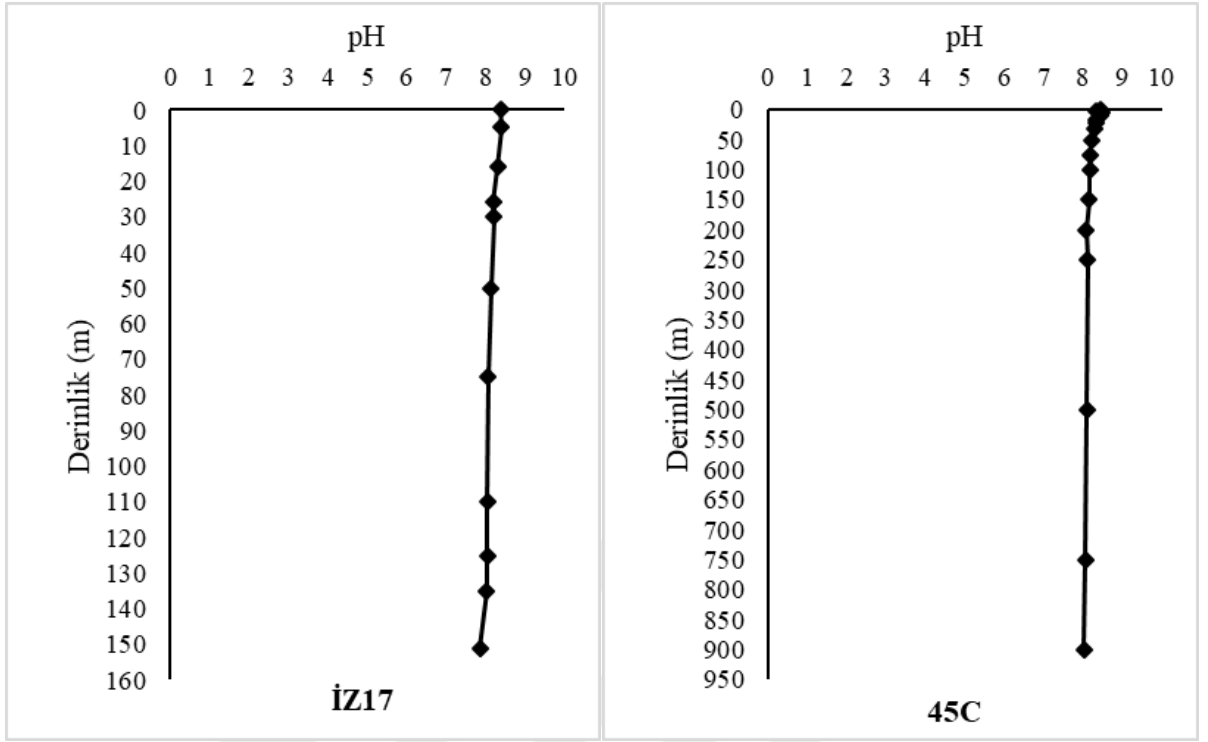


Şekil 15. İZ17 ve 45C istasyonlarında su kolonu boyunca çalışılan derinliklere ait sıcaklık değerleri

3.1.3. pH

İZ17 istasyonunda yüzeyde pH değeri 8,38 olarak ölçülmüştür (Şekil 16). En yüksek değer 5 m’de 8,39 iken en düşük değer 151 m’de 7,86 olarak ölçülmüştür. Çalışılan derinliklerde 75 m ile 135 m aralığında ciddi bir değişim gözlemlenmemiştir fakat 151 m’ye gelindiğinde pH değerinin 8 in altına düştüğü tespit edilmiştir. (Tablo 4, Şekil 16).

45C istasyonunda ise yüzey pH değeri 8,44 olarak ölçülmüştür. En yüksek pH değeri 5 m’de 8,48 iken en düşük pH değeri ise 900 m’de 8,03 olarak ölçülmüştür. Çalışılan su kolonu boyunca pH değerleri birbirine yakın değerlerde saptanmıştır (Şekil 16).

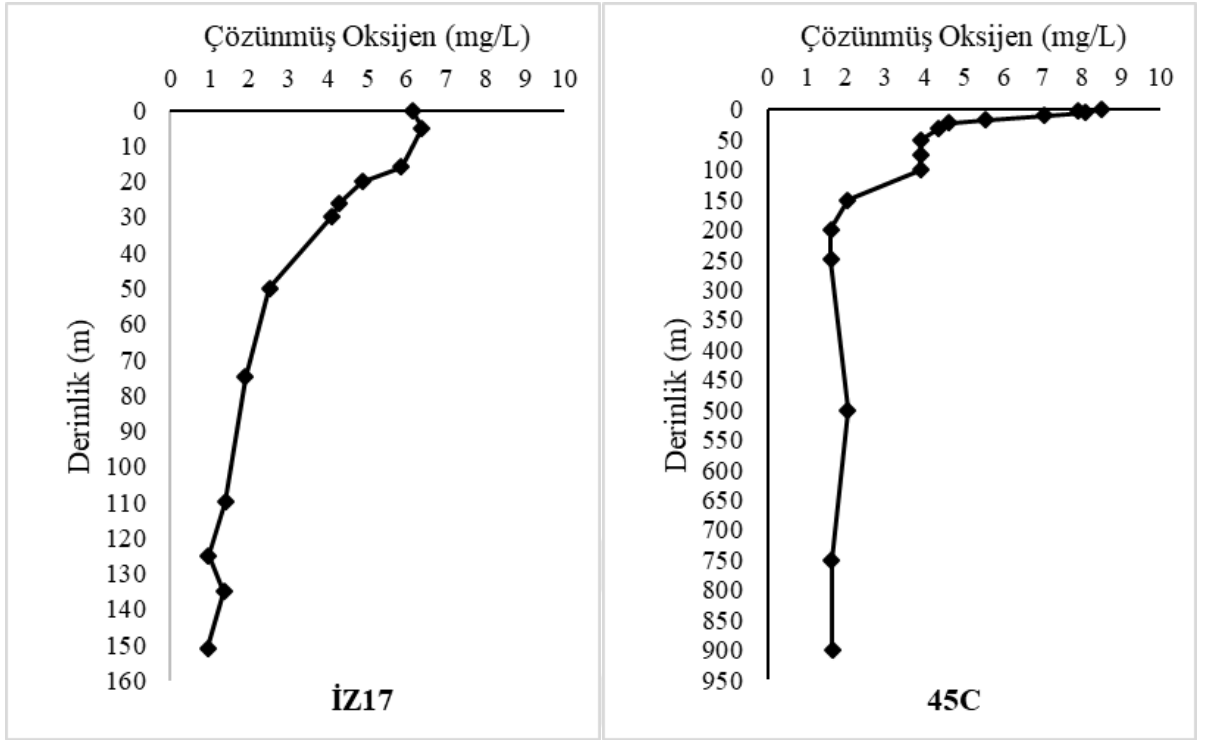


Şekil 16. İZ17 ve 45C istasyonlarında su kolonu boyunca çalışılan derinliklere ait pH değerleri

3.1.4. Çözünmüş oksijen

İZ17 istasyonunda ise en yüksek ÇO değeri 5 m’de 6,38 mg/L, en düşük ÇO değeri ise 151 m’de 0,93 mg/L olarak ölçülmüştür. ÇO değeri 135 m’de ise artış göstererek 1,35 mg/L ‘a ulaşmıştır. (Tablo 4, Şekil 17).

45C istasyonunda ise en yüksek ÇO değeri yüzey suyunda 8,49 mg/L en düşük ÇO değeri ise 250 m’de 1,62 mg/Lolarak ölçülmüştür. Yüzeyden itibaren 50 m’ye kadar düşüş gösteren ÇO seviyesi 50-100 m arasında sabit kalırken, 100 m’den sonra tekrar düşüş göstermektedir. Ayrıca 200-900 m’ler arasında genel olarak sabit değerde iken (1,62 mg/L), 500 m’de ise (2,04 mg/L) ÇO seviyesinde artış gözlenmiştir (Şekil 17).

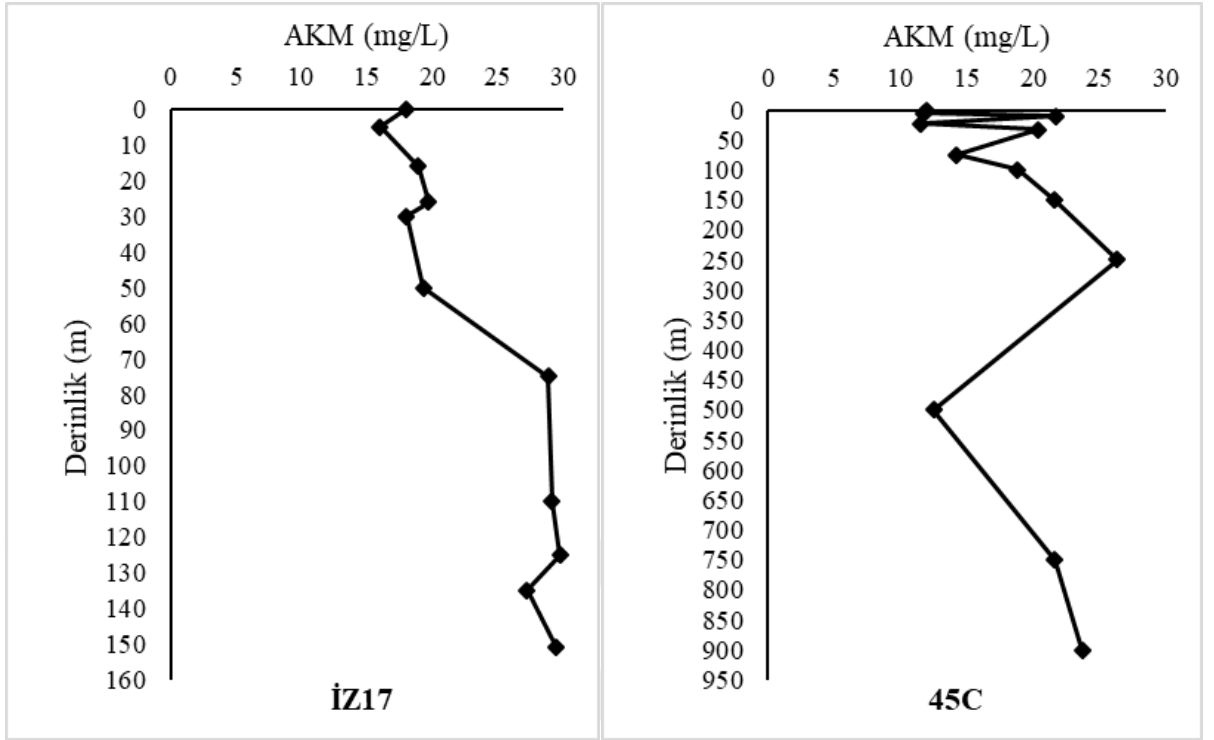


Şekil 17. İZ17 ve 45C istasyonlarında ait su kolonu boyunca çalışılan derinliklere ait çözülmüş oksijen değerleri

3.1.5. Askıda katı madde

İZ17 istasyonunda yüzey suyunda AKM değeri 8 mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 18). En düşük değeri 5 m’de 16 mg/L olarak ölçülmüştür. AKM miktarı 30 m’den (18 mg/L) sonra artarak en yüksek değerine 125 m’de (29,7 mg/L) ulaştığı saptanmıştır (Tablo 4). Daha sonra 135 m’de (27,2 mg/L) hafif düşüş gösteren AKM miktarı, 151 m’de 29,4 mg/L seviyesine yükselmiştir (Şekil 18).

45C istasyonunda ise AKM değeri yüzey suyunda 12 mg/L ölçülmüştür. Çalışılan su kolonu boyunca en yüksek 250 m’de 26,32 mg/L, en düşük değeri ise 22 m’de 11,5 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu istasyonda 100 m’den (18,8 mg/L) sonra artış gösteren AKM değeri 250 m’de en yüksek değerine ulaştıktan sonra 500 m’de (12,5 mg/L) en düşük değer seviyesine yaklaştığı gözlemlenmiştir. Daha sonra tekrar artarak 900 m’de 23,6 mg/L seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 18).



Şekil 18. İZ17 ve 45C istasyonlarında ait su kolonu boyunca çalışılan derinliklere ait AKM değerleri

3.1.6. Sülfat

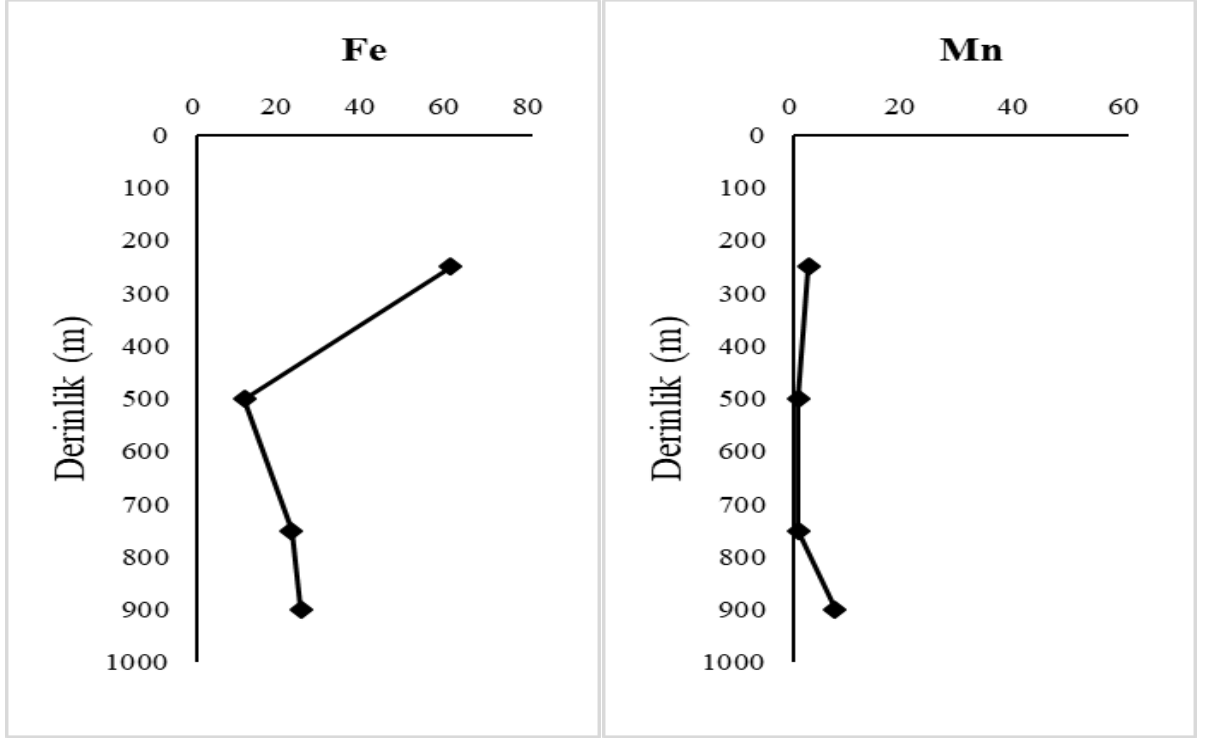
İZ17 istasyonunda belirlenen derinliklerde en yüksek sülfat değeri 135 m’de 3,00 g/L, en düşük değeri 125 m’de 2,75 g/L olarak ölçülmüştür (Tablo 4). 45C istasyonunda ise sülfat değerleri birbirine yakın seviyelerde ölçülmüş olup, en yüksek 500 m’de 3,04 g/L, en düşük 250 m’de 2,76 g/L olarak saptanmıştır.

3.1.7. Toplam sülfid

İZ17 istasyonunda 75, 110 ve 125 m derinliklere ait su örneklerinde toplam sülfid miktarının ölçüm limitlerinin altında olduğu saptanmıştır ($<0,03$ mg/L) Bununla birlikte en yüksek değer 151 m’de 0,25 mg/L, en düşük değer ise 135 m’de 0,15 mg/L olarak saptanmıştır (Tablo 4). Bu değerlere bağlı olarak sıcaklık-pH değişim tablosuna göre 135 m’de Hidrojen sülfür değeri 0,008 mg/L ve 151 m’de 0,041 mg/L olarak tespit edilmiştir. 45C istasyonunda ise tüm derinliklerde toplam sülfid miktarının ölçüm limitlerinin altında olduğu tespit edilmiştir. ($<0,03$ mg/L) (Tablo 4).

3.1.8. Mn ve Fe

45C istasyonuna ait Demir ve Mangan değerleri derinliklere bağlı olarak Şekil 19’da verilmiştir. En yüksek mangan değeri 900 m’de 7,58 $\mu\text{g/L}$ ve en düşük mangan değeri ise 500 m’de 0,88 $\mu\text{g/L}$ olarak tespit edilmiştir. Demir değerleri ise en yüksek 250 m’de 60,52 $\mu\text{g/L}$ ve en düşük 500 m’de 11,46 $\mu\text{g/L}$ olarak tespit edilmiştir.

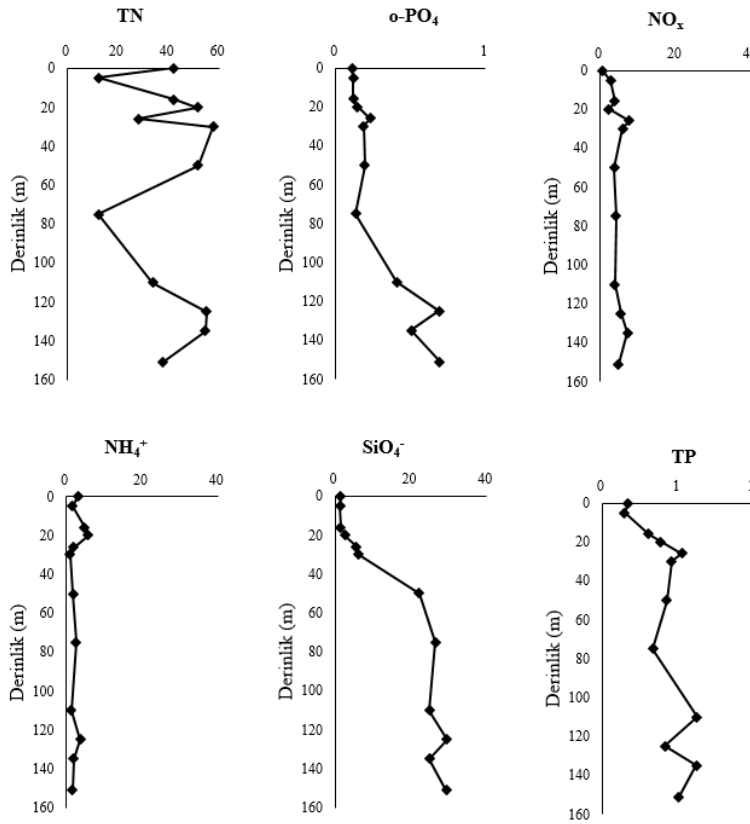


Şekil 19. 45C istasyonuna ait Demir ve Mangan değerleri

3.1.9. Besin Elementleri

İZ17 istasyonunda Mayıs ayında su kolonu boyunca çalışılan derinliklerde besin elementlerine ait grafikler Şekil 20’de verilmiştir. TP değerlerine bakıldığında en düşük değer 75 m’de 12,28 μM en yüksek değer ise 30 m’de 57,67 μM olduğu tespit edilmiştir. PO_4 değerlerine bakıldığında en düşük değer yüzeyde 0,11 μM , en yüksek değer ise 125 ve 151 m’de 0,69 μM olduğu görülmüştür. PO_4 değerleri yüzey ile 26 m arasında artış gösterirken, 30 ile 75 m arasında azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca 75 m’den sonra tekrar artış gösteren değer, 125 m’de en yüksek değerine ulaştıktan sonra 135 m’de 0,51 μM ’a düşmüş ve sonra 151 m’de tekrar en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. En düşük NO_x değeri yüzeyde 0,57 μM , en

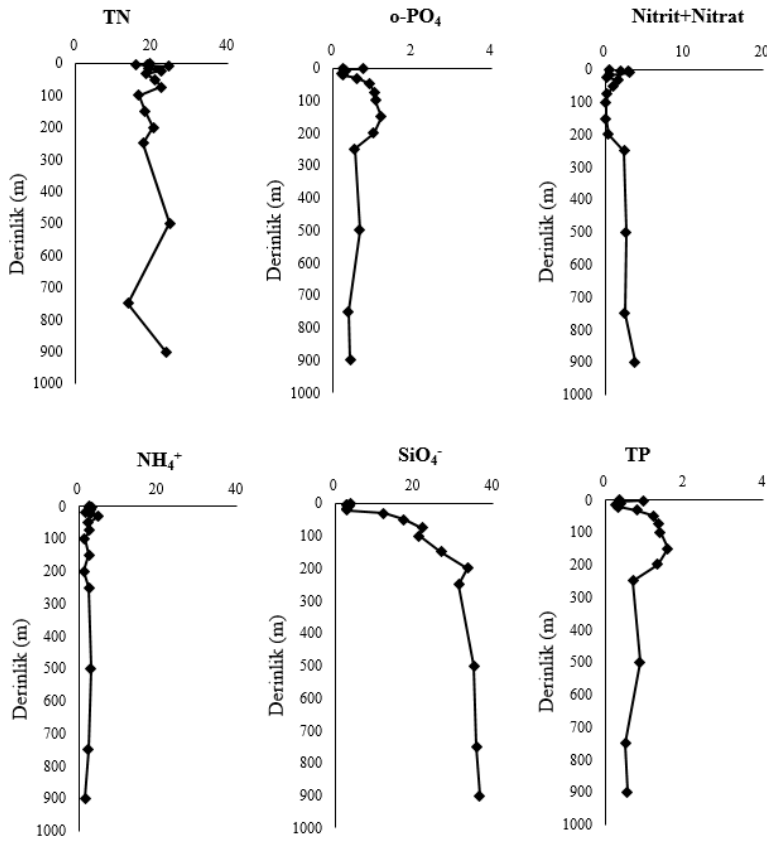
yüksek değer ise 26 m’de 7,74 μM) ölçülmüştür. En yüksek NH_4^+ değeri 20 m’de 5,69 μM , en düşük değer ise 30 m’de 0,93 μM olarak ölçülmüştür. En yüksek silikat değeri 125 m’de 29,55 μM , en düşük değer ise 5 m’de 1,37 μM olarak ölçülmüştür. Silikat değerleri kolon boyunca artış gösterirken 110 m’de ve 135 m’de düşüş gösterdiği saptanmıştır. En yüksek TP değeri 110 m’de 1,25 μM ve en düşük değer ise yüzeyde 0,34 μM olarak ölçülmüştür. 125 m’de 0,82 μM seviyelerine düşüp, 135 m’de 1,24 μM olarak neredeyse en yüksek seviyeye tekrar ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 20. İZ17 istasyonunda su kolonu boyunca çalışılan derinliklerdeki besin elementlerine ait grafikler

45C istasyonunda su kolonu boyunca çalışılan derinliklerde besin elementlerine ait grafikler Şekil 21’de verilmiştir. TP değerlerine bakıldığında en düşük değer 750 m’de 13,74 μM , en yüksek değerin ise 500 m’de 24,55 μM olduğu görülmüştür. PO₄ değerlerine bakıldığında en düşük değerin 17 m’de 0,21 μM , en yüksek değerin ise 150 m’de 1,22 μM

olduğu görülmüştür. En düşük NO_x değeri 150 m’de $0,05 \mu\text{M}$ en yüksek değer ise 900 m’de $3,75 \mu\text{M}$ olarak ölçülmüştür. En yüksek NH_4^+ değeri 32 m’de $4,78 \mu\text{M}$, en düşük değer ise 200 m’de $1,28 \mu\text{M}$ olarak ölçülmüştür. En yüksek silikat değeri 900 m’de $36,49 \mu\text{M}$, en düşük değer ise 22 m’de $2,85 \mu\text{M}$ olarak ölçülmüştür. En yüksek TP değeri 150 m’de $1,58 \mu\text{M}$ ve en düşük değer ise 17 m’de $0,28 \mu\text{M}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 21. 45C istasyonunda su kolonu boyunca çalışılan derinliklerdeki besin elementlerine ait grafikler

İZ17 istasyonunda farklı derinliklerde yapılan besin elementleri ölçümlerine ait değerler Tablo 5 ‘te verilmiştir. Bu derinliklerde en yüksek TP değeri 125 m ve 151 m’de $0,69 \mu\text{M}$, NO_x değeri 135 m’de $7,29 \mu\text{M}$, NH_4^+ , değeri 125 m’de $3,67 \mu\text{M}$, silikat değeri 125 m’de $29,55 \mu\text{M}$, PO_4 değeri 110 m’de $1,25 \mu\text{M}$ ve TP değeri 125 m’de $55,02 \mu\text{M}$ olarak ölçülmüştür. En düşük PO_4 değeri 75 m’de $0,13 \mu\text{M}$, NO_x değeri ise 110 m’de $3,95 \mu\text{M}$, NH_4^+ , değeri 110 m’de $1,24$

μM , silikat değeri 135 m’de 24,82 μM) TP değeri 75 m’de 0,67 μM ve TN değeri 75 m’de 12,28 μM olarak ölçülmüştür.

Tablo 5. İZ17 istasyonunda farklı derinliklere ait besin elementleri ölçümleri (μM)

İstasyon	Derinlik	Fosfat (PO ₄)	Nitrit+Nitrat (NO _x)	Amonyum (NH ₄ ⁺)	Silikat	Toplam Fosfor (TP)	Toplam Azot (TN)
İZ17	75	0,13	4,15	2,60	26,50	0,67	12,28
İZ17	110	0,41	3,95	1,24	24,88	1,25	33,73
İZ17	125	0,69	5,53	3,67	29,55	0,82	55,02
İZ17	135	0,51	7,29	1,87	24,82	1,24	54,63
İZ17	151	0,69	4,82	1,69	29,29	1,01	37,55

45C istasyonunda farklı derinliklerde yapılan besin elementleri ölçümlerine ait değerler Tablo 6 ‘te verilmiştir. Bu derinliklerde en yüksek TP değeri 500 m’de 0,68 μM , NO_x değeri 900 m’de 3,75 μM , NH₄⁺, değeri 500 m’de 2,97 μM , silikat değeri 900 m’de 36,49 μM , TP değeri 500 m’de 0,88 μM TP değeri 500 m’de 24,55 μM olarak ölçülmüştür. En düşük PO₄ değeri 750 m’de 0,39 μM , NO_x değeri ise 250 m’de 2,37 μM , NH₄⁺, değeri 900 m’de 1,59 μM), silikat değeri 250 m’de 31,20 μM TP değeri 750 m’de 0,50 μM ve TN değeri 750 m’de 13,74 μM olarak tespit edilmiştir.

Tablo 6. 45C istasyonunda farklı derinliklere ait besin elementleri ölçümleri (μM)

İstasyon	Derinlik	Fosfat (PO ₄)	Nitrit+Nitrat (NO _x)	Amonyum NH ₄ ⁺	Silikat	Toplam Fosfor (TP)	Toplam Azot (TN)
45C	250	0,54	2,37	2,54	31,20	0,70	17,62
45C	500	0,68	2,61	2,97	35,09	0,88	24,55
45C	750	0,39	2,49	2,41	35,61	0,50	13,74
45C	900	0,43	3,75	1,59	36,49	0,56	23,70

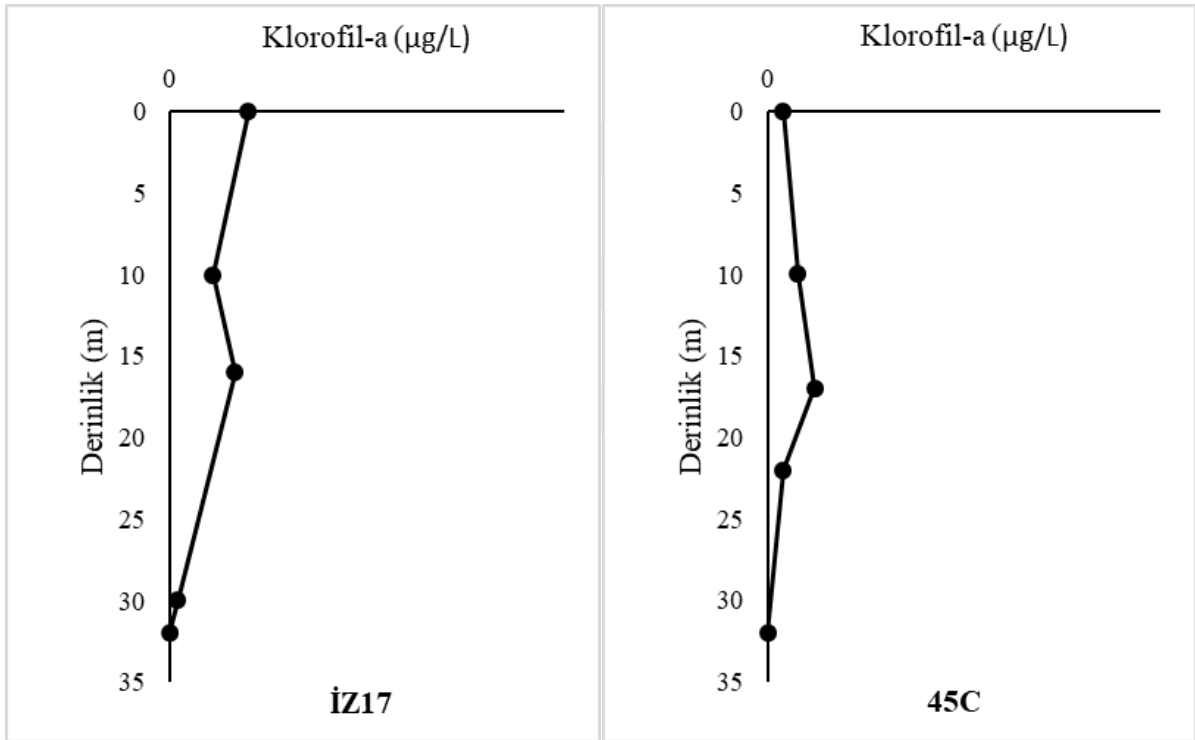
3.1.10. Klorofil-*a*

Klorofil fitoplanktonların yapısında bulunan bir pigmenttir ve fotosentezde rol oynamaktadır. Deniz izleme çalışmalarında takibi önemli olan klorofil-*a* değeri Sucul ortamlarda biyolojik bir gösterge olmasının yanı sıra aynı zamanda birincil üretimin bir

göstergesidir, yani suyun üretkenliği ve verimliliği hakkında bilgi vermektedir. Sucul ortamlardaki bu üretkenliği ve biyokütleyi tayin etmek için klorofil analizi yapılmaktadır.

İZ17 ve 45C istasyonları için Klorofil-*a* değerleri Şekil 19’de verilmiştir. İZ17 istasyonunda klorofil-*a* maksimum değeri 16 m’de, 0,165 µg/L ve seki disk derinliği ise 4,1 m olarak ölçülmüştür (Şekil 22).

45C istasyonunda ise klorofil-*a* maksimum değeri 17 m’de 0,12 µg/L olarak ölçülmüştür ve bu istasyonda seki disk derinliği 4,8 m olarak ölçülmüştür (Şekil 22).

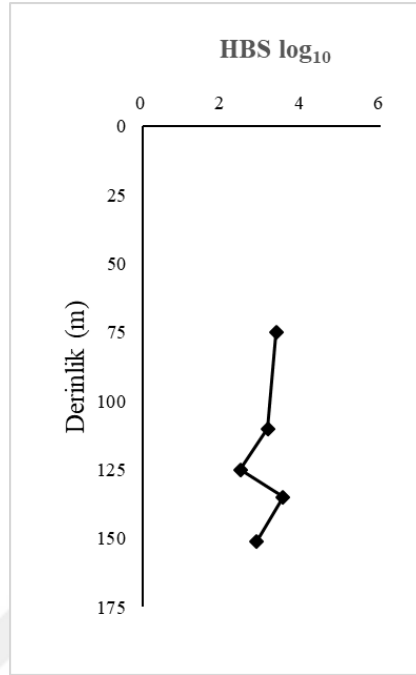


Şekil 22. İZ17 ve 45C istasyonlarına ait klorofil-*a* değerleri

3.2. Mikrobiyolojik Analizler

3.2.1. Aerobik heterotrofik bakteri (AHB) sayısı

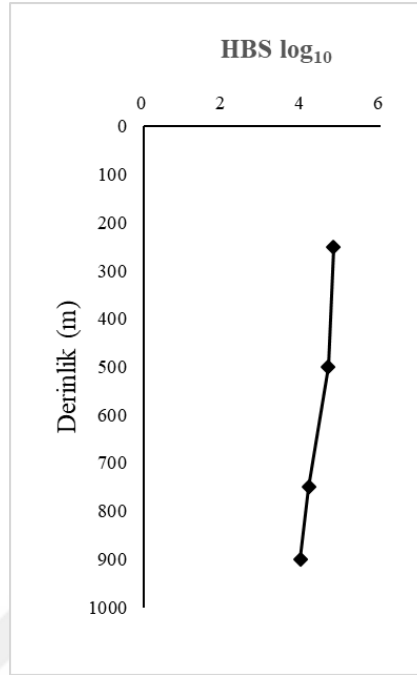
Çalışılan istasyonlarda farklı derinliklerdeki toplam AHB sayısı tespit edilmiştir. İZ17 istasyonunda çalışılan derinliklerde (75, 110, 125, 135 ve 151 m) aerobik heterotrofik bakterilerin sayısal durumu Şekil 23’da verilmiştir.



Şekil 23. İZ17 istasyonuna ait toplam AHB sayılarının derinliklere göre değişimi.

AHB sayısının en yüksek değeri 135 m’de 78378 kob/ml, en düşük değeri ise 125 m’de 385 kob/ml olarak tespit edilmiştir. 75 m’de 4800 kob/ml olan bakteri sayısı 125 m’ye kadar düşüş göstererek 385 kob/ml’ye ulaşmıştır. Daha sonra 135 m’de tekrar artış göstermiştir (78378 kob/ml). 151 m’ye gelindiğinde ise yine düşüş göstererek 1668 kob/ml olarak belirlenmiştir (Şekil 23).

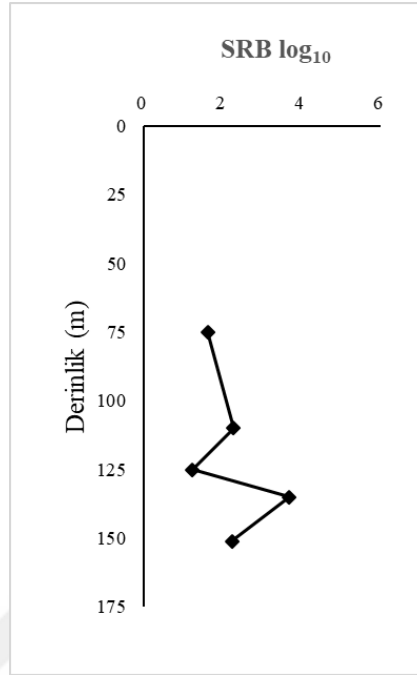
45C istasyonunda çalışılan derinliklerdeki (250, 500, 750 ve 900 m) aerobik heterotrofik bakterilerin sayısal durumu Şekil 24’de verilmiştir. 45C istasyonunda en yüksek AHB sayısı 250 m’de 63000 kob/ml iken, en düşük AHB sayısı ise 900 m’de 9150 kob/ml olarak tespit edilmiştir. Bakteri sayısının derinlik boyunca düşüş göstererek 500 m’de 57000 kob/ml ve 750 m’de 17075 kob/ml olduğu tespit edilmiştir (Şekil 24).



Şekil 24. 45C istasyonuna ait toplam AHB sayılarının derinliklere göre değişimi

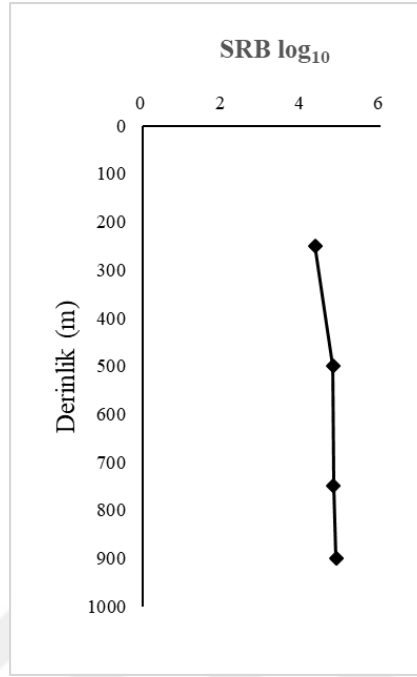
3.2.2. Sülfat indirgeyen bakteri (SRB) sayısı

İZ17 istasyonunda farklı derinliklerdeki (75, 110, 125, 135 ve 151 m) SRB sayısı Şekil 25’de verilmiştir. SRB sayısının en yüksek değeri 135 m’de (13300 h/ml) ve en düşük değeri ise 125 m’de (20 h/ml) tespit edilmiştir. SRB sayısında 75 m (45 h/ml)’ye göre 110 m (330 h/ml) de artış gözlemlenirken, 125 m’de bakteri sayısı düşmüştür. SRB sayısı 125 m’den sonra yükselerek 135 m’de, çalışılan derinlikler boyunca en yüksek değerine ulaşmıştır. Bu derinlikten sonra 151 m’ye (150 h/ml) kadar bakteri sayısında yine bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 25).



Şekil 25. İZ17 istasyonuna ait SRB sayılarının derinliklere göre değişimi

45C istasyonunda çalışılan derinliklerdeki ise (250, 500, 750 ve 900 m) SRB'lerin sayısal değişimi Şekil 26'da verilmiştir. SRB sayısının en yüksek değeri 750 m'de 85000 h/ml ve en düşük değeri ise 250 m'de 3000 h/ml tespit edilmiştir. Çalışılan su kolonu bölgesinde derinlik arttıkça SRB sayısında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. 250 m'den sonra artış gösteren SRB sayısının diğer üç derinlikte (500, 750 ve 900 m) birbirine yakın değerlerde olduğu (sırasıyla 72500 h/ml, 85000 h/ml ve 75000 h/ml) belirlenmiştir (Şekil 26).



Şekil 26. 45C istasyonunda çalışılan derinliklerdeki SRB sayılarının derinliklere göre değişimi

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tez çalışması kapsamında Marmara Denizi'nde Çınarcık Çukuru (45C) ve İzmit Körfezi (İZ17) istasyonlarında yapılan çalışmada, farklı derinliklerden alınan su örneklerinde çözünmüş oksijen, hidrojen sülfür (toplam sülfid miktarı), sülfat, sıcaklık, tuzluluk, askıda katı madde, pH, klorofil-a, seki disk ve besin elementleri araştırılmıştır. Ayrıca bu bölgelerde farklı derinliklerdeki sülfat indirgeyen bakterilerin ve aerobik hetetrofik bakterilerin tespiti ve sayımı yapılmıştır.

Özellikle denizel ortamda biyojeokimyasal döngülerde önemli rol oynayan sülfat indirgeyen bakterilerin Marmara Denizi'ndeki bu iki önemli bölgede (Çınarcık Çukuru-45C ve İzmit Körfezi orta basen-İZ17) tespitine yönelik bir çalışmaya henüz rastlanmamıştır. Bu çalışma ile bu istasyonlarda SRB ve AHB bakteri düzeyi açısından ilk bakteriyolojik veriler sağlanmıştır.

İZ17 istasyonunda çalışılan derinliklerde çözünmüş oksijen değerleri 0,94 mg/L ile 1,90 mg/L arasında olduğu saptanmıştır. (Tablo 4). Balkıs 2003 yılında yaptığı çalışmada, İZ17 istasyonunda yapılan örneklemede dip derinliklerde çözünmüş oksijen seviyesinin ölçüm limitlerinin altında bulunduğunu saptamıştır ($<0,03$ mg/L). Atabay 2012 yılında yaptığı çalışmada, İzmit Körfezi'nin orta körfez bölgesinde çözünmüş oksijen değerlerinin 0,3 mg/L ile 1,9 mg/L arasında değiştiğini tespit etmiştir. İzmit Körfezi'nde bu aylarda gerçekleşen çözünmüş oksijen düşüklüğünün, ilkbahar döneminde artan miktarlarda tatlı su girdisi yaşanan Karadeniz'den, Marmara Denizi yoluyla İzmit Körfezi'ne besinlerle zenginleşmiş su akışıyla ilgili olabileceğini belirtmiştir (Balkıs, 2003).

45C istasyonunda ise çözünmüş oksijen değerleri 1,62 mg/L ile 2,04 mg/L arasında olduğu tespit edilmiştir. Yücel ve arkadaşlarının (2021) yaptıkları bir çalışmada, 45C istasyonunda dip derinliklerde oksijen değerlerinin 1 mg/L civarında ve hatta bazı derinliklerde <1 mg/L olarak bulunduğunu saptamışlardır. Bu değerlerdeki farklılıklar örnekleme yapılan dönemlerin meteorolojik koşulları ile ilgili olabilir. Nitekim çalışılan mevsimin, örnekleme zamanındaki bölgeye ait meteorolojik verilerin, varsa bölgeye yapılan deşarjların ölçülen su

kalite parametreleri üzerinde önemli etkisi olduğu bilinmektedir (ÇŞİDB ve TUBİTAK-MAM, 2021).

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü ve ODTÜ tarafından 2021 yılında gerçekleştirilen bilimsel seferlerde İZ17 ve 45C istasyonlarında hidrojen sülfür tespit edilmiştir (Öztürk ve Alkan, 2021). Nitekim tez çalışması kapsamında İZ17 istasyonunda 135 ve 151 m’de sırasıyla 0,15 mg/L ve 0,25 mg/L hidrojen sülfür varlığı tespit edilmiştir. 2005-2006 yıllarında yapılan MEMPIS projesinde bu bölgede ölçülen hidrojen sülfür miktarının 0,31 mg/l ile 1,07 mg/l arasında değiştiği belirtilmiştir. Balkıs 2003 yılında yaptığı çalışmada ise, 1999 depreminden sonra İZ17 istasyonunda hidrojen sülfür içeriğini 1,25 mg/l olarak ölçtüğünü rapor etmiştir. (Balkıs, 2003). Marmara Denizi’nde görülen müsilaj sonrası 2021 Mayıs ve Haziran aylarında İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü’ne ait R/V Alemdar araştırma gemisi ile yapılan çalışmada ise uzun yıllardır takip edilen İzmit Körfezi’nde daha önce 110 m civarında görülen hidrojen sülfür varlığının, 34 m derinliğe kadar ulaştığı ve bu derinlikte 2 mg/L seviyelerine kadar çıktığı tespit edilmiştir (Alemdar, 2021). Müsilaja bağlı gelişen oksijensizleşme sebebiyle hidrojen sülfür gazının üst sulara kadar ulaştığı belirtilmiştir. Müsilaj olayından sonra gerçekleştirilen bu tez çalışmasında ise hidrojen sülfürün varlığı daha dip derinliklerde tespit edilmiştir. Bunun nedeni, körfezin Marmara’dan gelen sular ile yenilenmesi ve müsilajın etkisinin ortadan kalkması olabilir.

45C istasyonunda ise son yıllarda yapılan saha çalışmalarında dip sulara hidrojen sülfür tespit edilmiştir (Yücel ve diğerleri, 2021). İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü tarafından yıllardır takip edilen 45C istasyonunda daha önceki yıllarda da hidrojen sülfür ölçümü yapılmıştır. Ancak bu örnekleme döneminde hidrojen sülfür varlığına rastlanmamıştır. Bunun sebebi 45C istasyonunda elde edilen oksijen verileri de değerlendirildiğinde, Çanakkale Boğazı’ndan giren Akdeniz kökenli sularında etkisiyle hidrojen sülfür oluşumunun bertaraf edilebilmesi olabilir. Başka bir deyişle Marmara Denizi’nin kendi kendine yenilenme çabasını tüm olumsuz koşullara rağmen sürdürmekte olduğu söylenebilir.

İZ17 istasyonuna ait sülfat değerlerinin 2,75 g/L ile 3,00 g/L arasında olduğu tespit edilmiştir. 2005-2006 yıllarında yapılan MEMPIS projesinde aynı istasyonda benzer değerler tespit edilmiştir (MEMPİS, 2006). 45C istasyonuna ait sülfat değerleri ise derinliğe bağlı olarak önemli değişiklikler göstermemiştir. Deniz suyunda sülfat konsantrasyonu, atmosfer ile

okyanus sisteminin genel küresel redoks durumunu yansıtacak şekilde küresel olarak homojen olması gerektiği bilinmektedir (Zhu ve diğerleri, 2021). Ayrıca yapılan bu çalışmada istasyonlardaki ortam koşulları değerlendirildiğinde ortamda dönüşeceği form hidrojen sülfür olmasına rağmen sülfat miktarında değişiklik görülmemesi SRB'lerin aktivitesinin yüksek olmadığını ve bunun sebebinin ortamda hala bir miktar oksijen bulunmasına bağlı olduğu düşünülmektedir.

İZ17 istasyonuna ait tuzluluk ve sıcaklık değerleri incelendiğinde sırasıyla tüm derinliklerde ‰38,7 ve 15,9 °C olduğu bulunmuştur. Ayrıca 45C istasyonunda her derinlikte tuzluluk ve sıcaklık değerleri ‰38,8 ve 14,4 °C olarak ölçülmüştür. ÇŞİDB ve TUBİTAK-MAM tarafından yapılan çalışmada (2021), alt tabakada tuzluluk değerlerinin bahar mevsiminde tüm yıllarda sabit ve ‰38.7 olduğu belirtilmiştir. Marmara Denizi'nin derin bölgelerinde tuzluluğun yüksek olması, Çanakkale Boğazı ile gelen yüksek tuzluluk değerine sahip Akdeniz kökenli sulara bağlı olabilir (Beşiktepe ve diğerleri, 1994). Aynı şekilde Marmara Denizi'nin sahip olduğu iki tabakalı su sistemi göz önünde bulundurulduğu zaman sıcaklığın ara tabakanın altında yükseldiği ve derin sularda ortalama 15 °C civarında olduğu belirtilmiştir (ÇŞİDB ve TUBİTAK-MAM, 2021). Bu çalışmada İZ17 ve 45C istasyonlarına ait sıcaklık profilleri incelendiğinde ara tabakada düşen sıcaklık değerlerinin alt tabakada arttığı tespit edilmiştir (Şekil 18).

İZ17 ve 45C istasyonlarında çalışılan derinliklerde pH verilerinde çok büyük farklılıklar tespit edilmemiştir. İki istasyonda da dip derinliklere gidildikçe pH değerinin düştüğü tespit edilirken, bunun sebebinin bu derinliklerde çözünmüş oksijen seviyesinin düşük bulunması ile bağlantılı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca oksijenin düştüğü derinliklerde askıda katı maddenin yüksek bulunması bu durumu desteklemektedir. İZ17 istasyonunda dip derinliklerde pH'ın daha da düştüğü hatta 151 m'de 7.86 seviyesinde bulunması, bu derinliklerde tespit edilen hidrojen sülfür miktarına bağlı olduğu söylenebilir. Nitekim Balkıs, 2003 yılında İzmit Körfezinde yaptığı çalışmada çözünmüş hidrojen sülfür varlığının tespit edildiği derinliklerde pH düşmesinin meydana geldiğini bildirmiştir (Balkıs, 2003).

İzmit Körfezi'nde son yıllarda gözlenen hidrojen sülfür oluşumu, organik madde degradasyonunda nitrat iyonlarının hatta kısmen de olsa sülfat iyonlarının elektron akseptörü olarak kullanıldığına işaret etmektedir. Nitekim İzmit Körfezi'nde yapılan bu çalışmada hidrojen sülfür tespiti yapılan derinliklerde SRB sayısının artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Ayrıca NO_x değerlerinin düşük olduğu derinliklerde SRB miktarında artış gözlenmesi bu derinliklerde sülfat indirgenmesinin başladığına işaret etmektedir (Tablo 5). Ancak 45C istasyonunda da NO_x ve CO değerlerinin düşük olduğu derinliklerde de SRB sayısının artış gösterdiği tespit edilmiştir. Öte yandan Çınarcık Çukuru'nda da farklı derinliklerde tespit edilen SRB sayısının İzmit Körfezi'nde elde edilenden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Nitekim Çınarcık Çukuru, İzmit Körfezi'ne göre oldukça derindir. Daha derin sularda, SRB sayısı daha yüksek tespit edilebilir. Ancak aynı derinliklerde Çınarcık Çukuru'nda hidrojen sülfür varlığına da rastlanmamıştır. Bu durum SRB sayısı ile aktiviteleri arasında her zaman bir ilişki olmadığına işaret etmektedir. Nitekim Santegoeds ve diğ. (1998) de SRB'lerin popülasyon dinamiği üzerine yaptıkları çalışmada benzer sonuçları rapor etmişlerdir.

Azalan redoks potansiyeli sırasına göre önce nitrat, sonra mangan oksitler, demir ve sülfatın indirgenmesi sırası ile gerçekleşmektedir. 45C ve İZ17 istasyonlarında kendi içlerinde değerlendirildiğinde, NO_x değerlerinin diğer derinliklere göre nispeten yüksek bulunan derinliklerde SRB yoğunluğu düşük bulunmuştur. Bunun sebebi redoks potansiyeli sırası değerlendirildiğinde bu bölgelerde nitrat varlığına bağlı denitrifikasyonun gerçekleşiyor olması ve sülfat indirgenmesinin, denitrifikasyondan sonra gelmesi olarak söylenebilir (Millero, 2000). Ancak İZ17 istasyonunda 45C istasyonundan farklı olarak toplam sülfid ölçümü yapılan derinliklerde farklılık gözlemlenmiştir. 135 m'de en yüksek bakteri yoğunluğu tespit edilirken bu durumun aksine 151 m'de düşük yoğunlukta bakteri tespit edilmiştir bunun nedeni 151 m'de hidrojen sülfür miktarının 135 m'den fazla olması ve buradaki SRB'lerin aktiviteleri üzerinde toksik etki yaratabileceği düşünülmektedir ve ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Örnekleme dönemlerinde suboksik ve anoksik geçişlerin anlaşılabilmesinde kritik rol oynayan parametrelerden biri olan oksidasyon redüksiyon potansiyeli ölçümleri saha şartlarında yapılamamıştır. Bu parametreyi destekleyebilmesi açısından Haziran örneklemede Mn ve Fe analizi yapılmıştır. 45C istasyonunda Mn değerlerinin çözünmüş oksijenin nispeten artış gösterdiği derinliklerde düşüş göstermesi ve Fe değerlerinin Mn değerlerine göre yüksek bulunması manganın demire göre oksijen ile olan kuvvetli ilişkisi ve manganın redoks potansiyelinin demire göre daha düşük olması ile bağlantılıdır (Krauskopf, 1979). Mangan demire göre redoks değişimlerine daha duyarlı bir elementtir. Oksijen varlığında sırasıyla mangan ve demir oksitleri ve oksihidroksitleri halinde çöker. İndirgen koşullar varlığında da önce mangan indirgenerek çözünür forma geçer. Bu nedenle de dip

sularda sediment yüzeyi-su fazı arasındaki geçişlerde öncelikle mangan bileşikleri mobilize olur. Demir bileşikleri ise sülfür bileşikleri ve pirit olarak çökelme eğilimi gösterir. Sonuç olarak alt sularda mangan değerlerinin artış göstermesi suboksik koşulların varlığını desteklemektedir.

AHB sayıları açısından İzmit Körfezi ve Çınarcık Çukuru incelendiğinde, Çınarcık Çukuru'nda farklı derinliklerde tespit edilen AHB sayısının İzmit Körfezi'nde elde edilenden yüksek olduğu tespit edilmiştir. İzmit Körfezi'nde 151 m derinliğe kadar çalışılmasına rağmen Çınarcık Çukuru'nda 900 m derinliğe kadar ölçümler yapılmıştır. Bu istasyonun İzmit Körfezine kıyasla daha derin olmasına rağmen yüksek AHB sayısı tespiti, Karadeniz'de boğazın etki alanında AHB bakteri bolluğunun derin deşarjlardan etkilenmekte olduğuna işaret etmektedir. Yapılan çalışmalar, kıyılarda ve deşarj noktalarında bakteri sayılarının artış göstermekte olduğunu ve bazı dönemlerde de hidrodinamik şartlara bağlı olarak derin kısımlarda da bakteri sayılarının arttığını göstermektedir (Yılmaz, 2008). Yılmaz 2008 yılında Marmara Denizi'nde yaptığı çalışmada, üst tabakadaki bakteri bolluğunu $4,7 \times 10^8$ h/L olarak tespit edildiğini belirtmiştir. Ayrıca İZ17 istasyonunda AHB miktarının fazla olduğu derinliklerde SRB miktarının buna göre az olduğu tespit edilirken, 45C istasyonunda da AHB miktarının fazla olduğu derinliklerde SRB miktarının az olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Marmara Denizi'nin oksijenik durumu ile ilişkili olabilir.

Deniz ekosisteminin ve canlılığın sürdürülebilirliği açısından ÇO seviyesinin 5 mg/L'nin altına düşmemesi gerekmektedir. Fakat bu şartların sağlanamadığı denizel ortamlarda 2,5 mg/L'nin altında hipoksi oluşmaktadır. ÇO seviyesinin 2 mg/L'nin altına düşmesi aynı zamanda suboksik koşulların oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu çalışmada 45C istasyonunda ölçülen ÇO değerlerine bakıldığında çalışılan dip derinliklerde suboksik koşulların meydana geldiği görülmüştür. Daha önce İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü tarafından Doğu Marmara baseninde (Çınarcık Çukuru ve İzmit Körfezi orta basen) 2021 yılında yapılan çalışmalarda alt suda ortaya çıkan suboksik koşulların kalıcılık gösterdiği tespit edilmiştir (R/V Alemdar II, 2021). Bununla birlikte İZ17 istasyonu ÇO verileri değerlendirildiğinde çalışılan dip derinliklerde de suboksik koşulların meydana geldiği görüldüğü de, 135 ve 151 metrelerde hidrojen sülfürün tespiti bu bölgede anoksik koşulların başladığına işaret etmektedir. Nitekim bu derinliklerde tespit edilen SRB miktarı da bu durumu desteklemektedir. Özellikle suboksik ve anoksik koşulların başladığı noktalarda SRB varlığının

ve yoğunluğunun tespit edilmesi bu bölgelerdeki ekosistemin işleyişini anlamak ve hidrojen sülfür oluşumunun değerlendirilmesi ve bu bölgelerde gerçekleşen biyojeokimyasal döngülerin anlaşılması açısından oldukça önemlidir (Yücel ve diğerleri, 2021). Ek olarak sülfat indirgeyen bakterilerin mikrobiyolojik korozyonda ciddi rol oynamaları sebebiyle denizel ortamlarla ilgili endüstriyel alanların yoğun olduğu bölgelerde korozyona bağlı olarak ortaya çıkabilecek sorunların değerlendirilebilmesi ve çözüm üretilmesi açısından ayrıca önem arz etmektedir (Gu ve diğerleri, 2019).

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilen şekilde özetlenmiştir:

- Suboksik ve anoksik koşulların araştırılmasında incelenmesi gereken kritik parametreler analiz edilmiştir ve bununla birlikte sülfat indirgeyen bakteriler tespit edilmiştir.
- 45C ve İZ17 istasyonlarında suboksik koşullar saptanmıştır.
- 45C istasyonunda çalışılan dönemde ve dip derinliklerde fizikokimyasal parametreler ile birlikte SRB yoğunlukları değerlendirildiği zaman suboksik koşulların varlığı desteklenmiştir.
- 45C istasyonunda SRB miktarları değerlendirildiğinde kısmen de olsa sülfat iyonlarının zaman zaman elektron akseptörü olarak kullanıldığına dair işaretlerin varlığına ışık tutulmuştur.
- İZ17 istasyonunda dip derinliklerde suboksik koşullardan anoksik koşullara geçiş durumunun varlığı tespit edilmiştir.
- İZ17 ve 45C istasyonlarına ait veriler iki tabakalı bir su sistemine sahip Marmara Denizi'nin kendi kendine yenilenme çabasının varlığını desteklemektedir.
- 45C ve İZ17 alt suyunda Mangan ve Demir değerlerinin değişiminin suboksik ve anoksik koşulların varlığının belirlenmesinde rol oynayan parametreler olduğu görülmüştür.

Canlı hayatının ve denizel ortamların sürdürülebilirliği açısından oksijenik koşulların araştırılması, belirlenmesi ve buna göre bir eylem planının oluşturulması önem arz etmektedir. Özellikle sanayinin oldukça geliştiği ve yoğun nüfuslu bir bölge tarafından çevrelenen ve bir iç

deniz özelliği gösteren Marmara Denizi'nde bu koşulların araştırılması ve gerekli önlemlerin alınması Marmara Denizi'nin sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında seçilen İZ17 ve 45C istasyonları yıllardır izlenen ve konumları itibariyle önem arz eden iki bölgedir. Buralarda ve diğer kritik bölgelerde suboksik ve anoksik koşulların ayrıca bu koşulların oluşma sebeplerinin ve rol alan biyojeokimyasal döngülerin araştırılması Marmara Denizi'nin sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Yapılacak çalışmalarda suboksik ve anoksik koşulların ve seviyelerin belirlenmesinde kritik olan parametreler ile birlikte bu seviyelerin varlığına işaret eden bakteriyel yaşamın ve buralarda gerçekleşen biyojeokimyasal döngülerin araştırılması önem arz etmektedir. Bu döngülerde görev alan bakteri türlerinin yoğunluklarının tespiti bu alanların belirlenebilmesi açısından belirteç görevi görebilirler. Bu nedenle yapılacak yeni çalışmalarda sülfat indirgeyen bakterilerin kolon boyunca ve mevsimsel yada aylık çalışılması daha fazla bilgi sahibi olunabilmesi açısından önem arz etmektedir. Ayrıca önemli bir deniz yolu olan Marmara Denizi'nde limanların ve tersanelerin bulunduğu diğer körfezlerde sülfat indirgeyen bakterilerin detaylı bir şekilde çalışılması ayrıca bu bakterilerin en önemli özelliklerinden biri olan korozyon yapıcılıklarının engellenebilmesi açısından çözümlerin üretilebilmesi için önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Algan, O., Altıok, H., Yüce, H. (1999). Seasonal variation of suspended particulate matter in two-layered Izmit Bay, Turkey. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49(2), 235-250.
- Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, N., and Sarı, E. (2004). The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Geology* 46: 932-950.
- Alpar, B. (2000). Bandırma Körfezi, Gemlik Körfezi ve İzmit Körfezi sığ sismik görüntüleri. TMMOB Jeofizik Müh. Odası Güney Marmara depremleri ve jeofizik toplantısı. *Bildiriler Kitapçığı*, 49.
- Altuğ, G., Çardak, M., Türetken, P. S. Ç., Gürün, S., Kalkan, S. (2020). Deniz Ekosisteminde Bakteriyel Roller; Türkiye Denizleri Bakterileri Örneği. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 280-293.
- American Public Health Association (APHA), (1981), Standard methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association, Washington DC, 0-87553-091-5.
- APHA, AWWA, WPCP. (1980). Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 15th ed. Washington DC: APHA.
- APHA, AWWA, WPCP. (1985). Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 16 th ed. Washington DC: APHA.
- Artüz, M. L., Okay, I. A., Mater, B., Artüz, O. B., Gürseler, G., & Okay, N. (2007). Bilimsel Açıdan Marmara Denizi. *Türkiye Barolar Birliği Yayınları*, 119.
- Aslan Yılmaz, A. (2008). Karadeniz ve Marmara Denizinde aerobik heterotrofik bakterilerin incelenmesi. (Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.
- Balkıs, N. (2003). The effect of Marmara (Izmit) earthquake on the chemical oceanography of Izmit Bay, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 46(7), 865-878.
- Balkıs, N. (2012). The Effect of Marmara (Izmit) Earthquake on the Chemical Oceanography and Mangan Enrichment in the Lower Layer Water of Izmit Bay, Turkey. In *Earthquake Research and Analysis-Statistical Studies, Observations and Planning*. IntechOpen.
- Barton, L. L., & Tomei, F. A. (1995). Characteristics and activities of sulfate-reducing bacteria. In *Sulfate-reducing bacteria* (pp. 1-32). Springer, Boston, MA.
- Beşiktepe, S., Özsoy, E., Ünlüata, Ü. (1993). Filling of the Marmara Sea by the Daradanelles lower layer inflow. *Deep-Sea Research*, 49(9): 1815-1838.
- Beşiktepe, Ş. T., Sur, H. I., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T., Ünlüata, Ü. (1994). The circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography*, 34(4), 285-334.
- Bozorg-Haddad, O. (2021). *Economical, Political, and Social Issues in Water Resources*. Elsevier. Pages 217-257.
- Böllmann, J., Martienssen, M. (2020). Comparison of different media for the detection of denitrifying and nitrate reducing bacteria in mesotrophic aquatic environments by the most probable number method. *Journal of microbiological methods*, 168, 105808.
- Carton, H., Singh, S. C., Hirn, A., Bazin, S., De Voogd, B., Vigner, A., Sevilgen, V. (2007). Seismic imaging of the three-dimensional architecture of the Çınarcık basin along the North Anatolian fault. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B6).

- Castro, H. F., Williams, N. H., Ogram, A. (2000). Phylogeny of sulfate-reducing bacteria. *FEMS Microbiology Ecology*, 31(1), 1-9.
- Coban-Yildiz, Y., Tugrul, S., Ediger, D., Yilmaz, A., Polat, C. (2000). A comparative study on the abundance and elemental composition of POM in three interconnected basins: the Black, the Marmara and the Mediterranean Seas. *Mediterranean Marine Science*, 1(1), 51-64.
- Çağatay, M. N., Uçarkuş, G., Alpar, B. (2016). Geology and morphotectonics of Sea of Marmara. *The Sea of*, 209.
- Çetecioğlu, Z. (2006). Investigation of Archeal and Bacterial Diversity in Anoxic Marine Sediments from the Marmara Sea (Doctoral dissertation).
- ÇŞİDB, TÜBİTAK-MAM (2021). “Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2019 Marmara Denizi Özet Raporu”, TÜBİTAK-MAM Matbaası, Kocaeli.
- DeLaune, R.D., Reddy K.R., (2005). in *Encyclopedia of Soils in the Environment*.
- Doğan, E., Kurter, A., (1999). Marmara Denizi Sismik Görünümü. E. Doğan, A. Kurter (Eds.) *Marmara Denizi'nin Jeolojik Oşinografisi* (128-163).
- Ediger, D., Beken, Ç., Yüksek, A., Tuğrul, S. (2016). Eutrophication in the Sea of Marmara. *The Sea of*, 723.
- Erşan, M. S. (2008). Haliçte metal kirliliği (Master's thesis, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü).
- Erturaç, M. K. (2002). Marmara denizi kıyıları veri tabanı (Doctoral dissertation, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü).
- Falkowski, P. G., Algeo, T., Codispoti, L., Deutsch, C., Emerson, S., Hales, B., Pilcher, C. B. (2011). Ocean deoxygenation: past, present, and future. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 92(46), 409-410.
- Fauque, G. D. (1995). Ecology of sulfate-reducing bacteria. In *Sulfate-reducing bacteria* (pp. 217-241). Springer, Boston, MA.
- Gerengi, H. (2008). Tafel Polarizasyon (TP), Lineer Polarizasyon (LP), Harmonik Analiz (HA) ve Dinamik Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi (DEIS) Yöntemleriyle Düşük Karbon Çeliği (AISI 1026), Piriç-MM55 ve Nikalium-118 Alaşımlarının Yapay Deniz Suyunda Korozyon Davranışları ve Piriç Alaşımlarına Benzotriazol'ün İnhibitör etkisinin araştırılması.
- Ghazy, E. A., Mahmoud, M. G., Asker, M. S., Mahmoud, M. N., Abo Elsoud, M. M., Abdel Sami, M. E. (2011). Cultivation and detection of sulfate reducing bacteria (SRB) in sea water. *Journal of American Science*, 7(2), 604-608.
- Gu, T., Jia, R., Unsal, T., Xu, D. (2019). Toward a better understanding of microbiologically influenced corrosion caused by sulfate reducing bacteria. *Journal of materials science & technology*, 35(4), 631-636.
- Hamilton, W.A. 1994. A biocorrosion: the action of sulfate reducing bacteria. In: *Biochemistry of Microbial degradation*, C. Ratledge. Dordrecht: Kluwer academic.
- Hansen, T. A. (1993). Carbon metabolism of sulfate-reducing bacteria. In *The sulfate-reducing bacteria: contemporary perspectives* (pp. 21-40). Springer, New York, NY.
- Jia, R., Wang, D., Jin, P., Unsal, T., Yang, D., Yang, J., Gu, T. (2019). Effects of ferrous ion concentration on microbiologically influenced corrosion of carbon steel by sulfate reducing bacterium *Desulfovibrio vulgaris*. *Corrosion Science*, 153, 127-137.

- Kaçar, A. (2014). Aliğa (İzmir) Denizel Ortamındaki Sülfat İndirgeyen Bakterilerin Dağılımının EnMuhtemel-Sayı Metodu (EMS) ile Araştırılması. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5(2), 5-12.
- Kalıpcı, E., Başer, V., Türkmen, M., Nihal, Genç., Hüseyin, Cüce. (2021). Türkiye Kıyılarında Deniz Suyu Sıcaklık Değişiminin CBS ile Analizi ve Ekolojik Etkilerinin Değerlendirilmesi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(2), 278-288.
- Karabayir, E., Taskin, O. S., Simsek, F. B., Aksu, A., & Caglar, N. B. (2020). Assessment of distribution of heavy metals and activity level of 210Pb in biota from the northern coast of the Marmara Sea and Western Black Sea. Marine Pollution Bulletin, 161, 111759.
- Karaman S. D. (2020). Marmara Denizi Kınalıada Kıyısı Alanında Biyo-İndikatör Bakteri Düzeylerinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ve İçsu Kaynakları Yönetimi Ana Bilim Dalı, Deniz Biyolojisi Bilim Dalı.
- Keeling, R. F., Körtzinger, A., Gruber, N. (2010). Ocean deoxygenation in a warming world. Annu. Rev. Mar. Sci, 2(1), 199-229.
- Kocataş, A. (2017). Genel Oseanoloji Deniz Bilimlerine Giriş. Bursa, Dora Yayıncılık.
- Kováč, J., Vítězová, M., Kushkevych, I. (2018). Metabolic activity of sulfate-reducing bacteria from rodents with colitis. Open Medicine, 13(1), 344-349.
- Krauskopf, K. B. (1979). Introduction Geochemistry. International series in the Earth and Planetary Science. Mc. Graw-Hill.
- Laffoley, D., & Baxter, J. M. (2019). Ocean deoxygenation: Everyone's problem-causes, impacts, consequences and solutions. Gland, Switzerland: IUCN.
- Limburg, K. E., Breitburg, D., Swaney, D. P., Jacinto, G. (2020). Ocean deoxygenation: A primer. One Earth, 2(1), 24-29.
- LokaBharathi, P. A. (2004). Synergy in sulfur cycle: The biogeochemical significance of sulfate reducing bacteria in syntrophic associations. National Institute of Oceanography, Goa.
- Loring, D. H., & Rantala, T. (1992). Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. Earth-Science Reviews, 32, 235–283.
- Matsui, G. Y., Ringelberg, D. B., Lovell, C. R. (2004). Sulfate-reducing bacteria in tubes constructed by the marine infaunal polychaete Diopatra cuprea. Applied and Environmental Microbiology, 70(12), 7053- 7065.
- MEMPHIS (2005-2006) Projesi; Sur H.İ., Güven, K.C., Okuş, E., Algan, O, Gazioğlu, C., Yüksek, A., Altıok, H., Balkis, N., Taş., S., Aslan-Yılmaz, A., Yılmaz, N., Müftüoğlu, E., Karhan, Ü., Aksu, A., Demirel, N., Cumali, S., Özcan, F., Özsoylu, B., Kirci Elmas, E. (in academic order) (2006). Sampling programme at the Sea of Marmara of behalf of MEMPHIS Project. Sur, H.İ. (ed.), Yılmaz, N, (assist. ed.) Final Raporu (2006).
- Millero, F.J. (2000). Redox Processes in Anoxic Waters. In: Gianguzza, A., Pelizetti, E., Sammartano, S. (eds) Chemical Processes in Marine Environments. Environmental Science. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Morkoc, E., Tarzan, L., Okay, O. et al. Changes of oceanographic characteristics and the state of pollution in the Izmit bay following the earthquake of 1999. Environ Geol 53, 103–112 (2007).
- Morkoc, E., Tarzan, L., Okay, O., Tufekci, H., Tufekci, V., Tolun, L., Karakoc, F. (2007). Changes of oceanographic characteristics and the state of pollution in the Izmit bay following the earthquake of 1999. Environmental Geology, 53(1), 103-112.

- Morkoç, E., Okay, O. S., Tolun, L., Tüfekçi, V., Tüfekçi, H., Legoviç, T. (2001). Towards a clean Izmit Bay. *Environment international*, 26(3), 157-161.
- Mudryk, Z. J., Podgorska, B., Ameryk, A., & Bolalek, J. (2000). The occurrence and activity of sulphate-reducing bacteria in the bottom sediments of the Gulf of Gdańsk. *Oceanologia*, 42(1).
- Murray, J. W., Jannasch, H. W., Honjo, S., Anderson, R. F., Reeburgh, W. S., Top, Z., Izdar, E. (1989). Unexpected changes in the oxic/anoxic interface in the Black Sea. *Nature*, 338(6214), 411-413.
- Murray, J. W., Lee, B. S., Bullister, J., Luther, G. W. (1999). The suboxic zone of the Black Sea. In *Environmental degradation of the Black Sea: Challenges and remedies* (pp. 75-91). Springer, Dordrecht.
- Müftüoğlu, A. E. (2008). Marmara Denizi Haliç ve Körfezlerinin hidrodinamik yapısı.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2022), Marine Microbes: Did You Know?. (<https://oceanexplorer.noaa.gov/ocean-sampling-day/media/microbes-fact-sheet.pdf>)
- Neretin, L. N., Abed, R. M., Schippers, A., Schubert, C. J., Kohls, K., & Kuypers, M. M. (2007). Inorganic carbon fixation by sulfate-reducing bacteria in the Black Sea water column. *Environmental Microbiology*, 9(12), 3019-3024.
- Oğuz, T. (2002). Marmara Denizi'nde besin tuzları-plankton dinamiğinin bir model yardımı ile incelenmesi projesi.
- Okay, A. I., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E., Kuşçu, İ. (2000). Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multichannel seismic reflection study. *Tectonophysics*, 321(2), 189-218.
- Ozturk, B. (2002). The Marmara Sea, a link between the Mediterranean and the Black Sea. In *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management* (pp. 337-340). Springer, Dordrecht.
- Ozturk, B. (2002). The Marmara Sea, a link between the Mediterranean and the Black Sea. In *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management* (pp. 337-340). Springer, Dordrecht.
- Öztürk, H., Alkan, G. (2021). Türkiye'nin Ekstrem Deniz Ortamları. *Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV) Yayın no: 61, İstanbul, Türkiye*, 210s.
- Paerl, H. W., & Pinckney, J. L. (1996). A mini-review of microbial consortia: their roles in aquatic production and biogeochemical cycling. *Microbial Ecology*, 31(3), 225-247.
- Paerl, H. W., & Pinckney, J. L. (1996). A mini-review of microbial consortia: their roles in aquatic production and biogeochemical cycling. *Microbial Ecology*, 31(3), 225-247.
- Polat, S. C., Tuğrul, S., Çoban, Y. E. Ş. İ. M., Basturk, O., Salihoglu, I. (1997). Elemental composition of seston and nutrient dynamics in the Sea of Marmara. *Hydrobiologia*, 363(1), 157-167.
- Polat, S. Ç., Tuğrul, S. (1995). Nutrient and organic carbon exchanges between the Black and Marmara Seas through the Bosphorus Strait. *Continental Shelf Research*, 15(9), 1115-1132.
- Postgate, J. R. (1965). Recent advances in the study of the sulfate-reducing bacteria. *Bacteriological reviews*, 29(4), 425-441.
- Postgate, J.R., (1984), *The sulphate reducing bacteria*, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 0521257913.
- R/V Alemdar II. (2021). İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Müsilaj Seferleri Araştırma Verileri.

- SamKamaleson, A., Gonsalves, M. J., Karthikeyan, A., LokaBharathi, P. A. (2021). Sulfate-reducing and sulfur-oxidizing bacterial activity in the coastal waters of Arabian Sea during post upwelling season. *Geomicrobiology Journal*, 38(2), 150-163.
- Santegoeds, C.M., Ferdelman, T.G., Muyzer, G., De Beer, D., (1998). Structural and functional dynamics of sulfate-reducing populations in bacterial biofilms, *Applied and environmental microbiology*, 64, 3731–3739.
- Standard methods for the examination of water and wastewater, (2005). 4500-S2-F Iodometric Method, 21st Edition.
- Stanev, E. V., Poulain, P. M., Grayek, S., Johnson, K. S., Claustre, H., Murray, J. W. (2018). Understanding the dynamics of the oxic-anoxic interface in the Black Sea. *Geophysical Research Letters*, 45(2), 864-871.
- Stewart, K., Kassakian, S., Krynytzky, M., DiJulio, D., Murray, J. W. (2007). Oxic, suboxic, and anoxic conditions in the Black Sea. In *The Black Sea flood question: Changes in coastline, climate, and human settlement* (pp. 1-21). Springer, Dordrecht.
- Søndergaard, M. (2009). Redox Potential Definitions and General Aspects. *Encyclopedia of Inland Waters*, 852-859.
- Taşdemir, Y. (2002). Marmara denizi: Kirleticiler ve çevre açısından alınabilecek tedbirler. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7, 1, 39-45.
- Tolun, L. G., Okay, O. S., Gaines, A. F., Tolay, M., Tüfekçi, H., Kıratlı, N. (2001). The pollution status and the toxicity of surface sediments in Izmit Bay (Marmara Sea), Turkey. *Environment International*, 26(3), 163-168.
- Tugrul, S., Besiktepe, S. (2007). Nutrient exchange fluxes between the black sea and the Mediterranean through the turkish strait system (marmara sea, bosphorus and dardanelles). In *CIESM congress, Istanbul, Turkey* (Vol. 69).
- Tugrul, S., Polat, C. (1995). Quantitative comparison of the influxes of nutrients and organic carbon into the Sea of Marmara both from anthropogenic sources and from the Black Sea. *Water Science and Technology*, 32(2), 115-121.
- Ulloa, O., Canfield, D. E., DeLong, E. F., Letelier, R. M., Stewart, F. J. (2012). Microbial oceanography of anoxic oxygen minimum zones. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 15996-16003.
- Ünlüata, Ü., Oğuz, T., Latif, M. A., & Özsoy, E. (1990). On the physical oceanography of the Turkish Straits. *The physical oceanography of sea straits*, 25-60.
- Ünsal, T. (2016). Gümüş-Bakır İyonlarının Galvanizli Çeliğin Mikrobiyolojik Korozyonuna Etkisi (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, Temel ve Endüstriyel Mikrobiyoloji Bilim Dalı.
- Vester, F., Ingvorsen, K. (1998). Improved most-probable-number method to detect sulfate-reducing bacteria with natural media and a radiotracer. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(5), 1700-1707.
- Yaşar, D. (2001). Anthropogenic pollution in Izmit Bay: heavy metal concentrations in surface sediments. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 25(4), 299-313.
- Yılmaz, A. (2002). Türkiye denizlerinin biyojeokimyası: Dağılımlar ve dönüşümler. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 26(2), 219-235.
- Yücel S., Özgüvenç Ünsal T., Çağlar N., Aksu A., (2022). Denizlerde Suboksik ve Anoksik Koşulların Belirlenmesinde İncelenmesi Gereken Kritik Parametreler, 5. Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı, Karadeniz Teknik Üniversitesi/Trabzon, Türkiye.

- Yücel, M., Akçay, İ., Sevgen, S., Alımlı, N., Ermiş, E., Tanık, G., & Esti, M. (2021). Türkiye Derin Denizlerinde Anaerobik ve Kemosentetik Ekosistemler. Türkiye'nin Ekstrem Deniz Ortamları, 1.
- Zhang, Y., Wang, X., Zhen, Y., Mi, T., He, H., & Yu, Z. (2017). Microbial diversity and community structure of sulfate-reducing and sulfur-oxidizing bacteria in sediment cores from the East China Sea. *Frontiers in microbiology*, 8, 2133.
- Zhu, G., Li, T., Huang, T., Zhao, K., Tang, W., Wang, R., Shen, B. (2021). Quantifying the seawater sulfate concentration in the Cambrian ocean. *Frontiers in Earth Science*, 1026.



Marmara Denizi'nin Farklı Bölgelerinde Suboksik ve Anoksik Seviyelerin Araştırılması

Yazar Seben Yücel Çankaya

Gönderim Tarihi: 23-Ara-2022 02:51PM (UTC+0300)

Gönderim Numarası: 1986162675

Dosya adı: Seben_Y_CEL_YL.docx (4.29M)

Kelime sayısı: 13589

Karakter sayısı: 87952

Marmara Denizi'nin Farklı Bölgelerinde Suboksik ve Anoksik Seviyelerin Araştırılması

ORJİNALLİK RAPORU

%9	%9	%2	%1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%5
2	www.ktu.edu.tr İnternet Kaynağı	%1
3	tudav.org İnternet Kaynağı	%1
4	webdosya.csb.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
5	old.ims.metu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
6	emlakansiklopedisi.com İnternet Kaynağı	<%1
7	marmara.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
8	acikerisim.sinop.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<%1
9	sarkac.org İnternet Kaynağı	<%1



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK RAPORU UYGUNLUK FORMU



ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI	: Seben YÜCEL
ÖĞRENCİ NO	: 3001200001
ÖĞRETİM YILI	: 2022-2023
ANABİLİM DALI / BİLİM DALI	: Kimyasal Optnografi Anabilim Dalı
PROGRAM TÜRÜ	: YÜKSEK LİSANS ☒ DOKTORA ☒
TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI	: Dr. Öğr. Üyesi Tuba ÜNSAL ÖZGÜVENÇ
II. TEZ DANIŞMANI ÜNVAN ADI SOYADI	: Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR
TEZ BAŞLIĞI	: Marmara Denizi'nin Farklı Bölgelerinde Suboksik ve Anoksik Seviyelerin Araştırılması

DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Türkçe ve İngilizce özet, giriş ve amaç, genel bilgiler, materyal-metot, bulgular, tartışma, sonuç ve kaynaklar bölümlerinden oluşan toplam .61 . sayfalık kısmına ilişkin, 23 . 12 . 2022 tarihinde Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün kullandığı **TURNİTİN** programı ile, *Lisansüstü Tezlere ait Benzerlik Raporlarının Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Uygulama Esaslarının 5inci madde ikinci fıkrasında belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış nihai rapora göre benzerlik oranı % .9 . 'dir.*

Tezimin benzerlik oranı, 06/122017 tarih ve 20 sayılı Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Yönetim Kurul Kararıyla Tezin intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için kabul edilmiş olan üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır.

İntihal programı ile raporlanan Tezime ait Benzerlik oranım Üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu beyan ederim.

Gereğini arz ederim.

İmza
Öğrenci Ad-Soyadı
Tarih: 23 . 12 . 2022
Seben YÜCEL

EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR
(Ünvan, Ad Soyadı, İmza)

Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR

Dr. Öğr. Üyesi Tuba ÜNSAL ÖZGÜVENÇ

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM VE ÖĞRETİM YÖNETMELİĞİ (08.09.2016/29825)

(Yüksek Lisans) MADDE 36 – (2) Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir.

(Doktora) MADDE 50 – (4) Öğrenci, doktora tezinin savunmasından önce tezini, düzeltme verilen tezlerde ise düzeltilmiş tezini danışmanına sunar. Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi :
Doğum yeri :
Lise : (2010-2014), Çamlıca Kız Anadolu Lisesi
Lisans : (2014-2020), Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Biyomühendislik Bölümü
Çalıştığı kurum : (2022 - devam ediyor), İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve
İşletmeciliği Enstitüsü
Bilimsel etkinlikleri : Poster Sunumu/5. Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı-Trabzon
Sözlü Sunum/III. Ulusal Denizlerde İzleme ve Değerlendirme
Sempozyumu-Antalya