

**T.C.
ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI
ÇED, İZİN VE DENETİM GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**DENİZLERDE BÜTÜNLEŞİK KİRLİLİK İZLEME
PROGRAMI**

2014-2022 YILI

MARMARA DENİZİ ÖZET RAPORU



**T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI**



Bu çalışma Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Laboratuvar, Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı yayımıdır.

Bu raporun her türlü basım ve dağıtım hakkı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğüne aittir. Rapor izinsiz olarak çoğaltılamaz ve dağıtılamaz.

ANKARA – 2026

Eser Adı	:	Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2022 Marmara Denizi Özet Raporu
ISBN	:	978-625-8679-60-1
Kaynak Gösterme	:	ÇŞİDB, TÜBİTAK-MAM (2026). “Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2022 Marmara Denizi Özet Raporu”, TÜBİTAK-MAM Matbaası, Kocaeli.
Adres	:	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı – Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Mustafa Kemal Mah. Eskişehir Devlet Yolu (Dumlupınar Bulvarı) 9.km No: 278 Çankaya/ANKARA
Tel	:	0 312 410 10 00
Faks	:	0 312 419 21 92
web	:	www.csb.gov.tr/gm/ced
Baskı	:	TÜBİTAK MAM Matbaası Gebze/Kocaeli
Baskı No	:	5208703
Kapak Fotoğrafları	:	Dr. Sabri MUTLU (Üst Sol) Hayati ÇALIK (Alt Sol) Erdal KARA (Sağ)



**T.C. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI**

ÇED, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü
Laboratuvar Ölçüm ve İzleme Dairesi Başkanlığı
Mustafa Kemal Mahallesi Eskişehir Devlet Yolu
(Dumlupınar Bulvarı) 9.km No: 278 Çankaya/ANKARA
www.csb.gov.tr



DENİZLERDE BÜTÜNLEŞİK KİRLİLİK İZLEME PROGRAMI 2014-2022 MARMARA DENİZİ ÖZET RAPORU

KOORDİNATÖR

*T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü*

Fatih EKMEKÇİ, Genel Müdür
Yahya KESİMAL, Genel Müdür Yardımcısı

PROJE YÜRÜTÜCÜLERİ

*T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü*

Soner OLGUN, Daire Başkanı
İbrahim Fatih ERKAL, Şube Müdürü
Hacer SELAMOĞLU ÇAĞLAYAN, Uzman
Ebru OLGUN EKER, Uzman
Sevil ÖKSÜZ, Uzman
Betül KESKİN ÇATAL, Uzman

*TÜBİTAK- Marmara Araştırma Merkezi BYİYB
Deniz Araştırmaları ve Teknolojileri Araştırma Grubu*

Dr. Hakan ATABAY, Proje Yürütücüsü
Doç. Dr. İbrahim TAN, Proje Yürütücü Yardımcısı
Dr. Sabri Mutlu, Proje Yürütücü Yardımcısı
Aslı Dönertaş, Proje Yürütücü Yardımcısı

RAPORU HAZIRLAYANLAR

*TÜBİTAK- Marmara Araştırma Merkezi BYİYB
Deniz Araştırmaları ve Teknolojileri Araştırma Grubu*

Doç. Dr. Çolpan POLAT BEKEN

Dr. Hakan ATABAY

Doç.Dr. İbrahim TAN

Dr. Sabri MUTLU

Dr. Fatma BAYRAM

Dr. Leyla TOLUN

Ersan KUZYAKA

Dr.Alper EVCEN

Dr.Ertuğrul ASLAN

Gökhan KAMAN

Aslı DÖNERTAŞ

Dr. Cihangir AYDÖNER

Dr.Ömer Faruk ÇİFTBUDAK

Dr.Gülsima Dilek USLUER

Doç. Dr. Oltan CANLI

Doç. Dr. Barış GÜZEL

Erdal KARA

Bora DENİZMEN

Hayati ÇALIK

Furkan DURMAZ

Nihal KÖSE

Aleyna Çağla ÇEBİ

İstanbul Üniversitesi-Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü

Prof. Dr. Nazlı DEMİREL

Dr. Dalida BEDİKOĞLU

Sinop Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü

Prof. Dr. Güley KURT COŞKUN

Dr. Sevgi KUŞ

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü

Prof. Dr. Ayşegül MÜLAYİM

Dr. Öğretim Üyesi Senem ÇAĞLAR

Celal Bayar Üniversitesi – Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü

Prof. Dr. Ergun TAŞKIN

Doç. Dr. Orkide MİNARECİ

Prof. Dr. Ersin MİNARECİ

Dr. Murat ÇAKIR

Furkan BİLGİÇ

Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü

Prof. Dr. Şükrü BEŞİKTEPE

Prof. Dr. Erdem SAYIN

Dr. Canan ERONAT

Dr. Erdal TOKAT

Dr. Öğr. Üyesi Barış AKÇALI

İstanbul Üniversitesi-Su Bilimleri Fakültesi

Prof. Dr. Saadet KARAKULAK

Dr. Öğr. Üyesi Taner YILDIZ

Dr. Uğur UZER

RAPORU HAZIRLAYANLAR

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Prof. Dr. Ülgen AYTAN

TENMAK/NÜKEN

Dr. Funda BARLAS ŞİMŞEK

İstanbul Teknik Üniversitesi-İnşaat Fakültesi- Geomatik Mühendisliği

Prof. Dr. Filiz SUNAR

Doç. Dr. Adalet DERVİŞOĞLU

Doç. Dr. Nur YAĞMUR

İÇİNDEKİLER

TABLO DİZİNİ	iii
ŞEKİL DİZİNİ	v
KISALTMA VE TANIMLAR.....	ix
1 GİRİŞ	13
2 YASAL ÇERÇEVE	17
3 MARMARA DENİZİ BÜTÜNLEŞİK DENİZ İZLEME VE DEĞERLENDİRME SONUÇLARI.....	19
3.1 Su Kolonu Fiziksel Özellikleri	21
3.2 Sualtı Gürültüsü	26
3.3 Ötrofikasyon.....	28
3.3.1 Besin Elementleri	30
3.3.2 Çözünmüş oksijen	32
3.3.3 Klorofil-a	35
3.3.4 Işık Geçirgenliği (Seki Disk Derinliği)	37
3.3.5 Marmara Denizi Ötrofikasyon Parametrelerinin Yönelim Analizi	38
3.3.6 TRIX.....	40
3.3.7 Marmara Denizi'nde Uydu Verileri ve Modelleme Yaklaşımı ile Su Kalitesi Değerlendirmesi	41
3.4 Su Kolonu Habitatları	46
3.4.1 Fitoplankton	46
3.4.2 Zooplankton	56
3.5 Deniz Tabanı Habitatları	66
3.5.1 Makro Flora.....	66
3.5.2 Posidonia oceanica izleme istasyonlarının kurulumu ve izleme çalışmaları	75
3.5.3 Makrozoobentos	78
3.5.4 Haydarpaşa Limanı Yabancı/Yayılmacı Tür Çalışması	86
3.5.5 Trol Çalışması ile Balık ve Omurgasız Biyoçeşitliliği.....	88
3.6 Kirleticiler	97
3.1.1. Sedimanda Kirleticiler.....	98
3.6.1 Biyotada Kirleticiler	107
3.6.2 Radyoaktivite Düzeyleri.....	112
3.7 Deniz Çöpleri.....	117
3.7.1 Deniz Ortamında Mikroplastikler	118
3.7.2 Sahilde Çöpler	124
3.7.3 Deniz Tabanı Çöpleri	126
3.8 Kıyı Su Yönetim Birimlerinin Baskı ve Ekolojik Kalite Durum Değerlendirmesi	128
3.8.1 Baskıların Değerlendirilmesi.....	128
3.8.2 SÇD Biyolojik Kalite ve Ötrofikasyon Göstergelerine Bağlı Ekolojik Kalite Değerlendirmesi	129
3.8.3 Kimyasal Kirlenme Durumunun Değerlendirilmesi	133
KAYNAKLAR.....	136

TABLO DİZİNİ

Tablo 3.1. Marmara Denizi İzleme bileşenleri istasyon sayıları (Y: Yaz, K:Kış, İ:İlkbahar) .	20
Tablo 3.2. Besin tuzları girdilerinin haliçlerde ve kıyı sularında su kalitesiyle ilişkili olarak etkileri.....	28
Tablo 3.3. Besin elementleri (NO _x , PO ₄) ve klorofil-a'nın zamana bağlı uzun dönemli değişimlerinin analizi (DEN-İZ Programı veri seti)	40
Tablo 3.4. 2014-2022 izleme döneminde saptanan makroflora takson sayıları.....	66
Tablo 3.5. 2014-2022 izleme döneminde makro flora çalışma istasyonlarının “Ekolojik kalite İndeksi: EEI” ile yapılan kalite sınıflandırması (K:Kötü, Z:Zayıf, O:Orta, İ:İyi, Çİ:Çok İyi) .	67
Tablo 3.6. Marmara Denizi 2021 izleme yılına ait MARFEI değerlendirme sonuçları.....	74
Tablo 3.7. Marmara Denizi <i>Posidonia oceanica</i> izleme istasyonlarında 2018, 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki ortalama ölçüm değerleri ve ekolojik durum sınıflandırması	77
Tablo 3.8. Marmara Denizi'ndeki makrozoobentos istasyonlarının kodları, koordinatları, habitat yapıları, örnekleme tarihleri ve derinlikleri.....	78
Tablo 3.9. Marmara Denizi'nde 2014-2021 yılları arasında tespit edilen yabancı makrozoobentik türler ve toplam birey sayıları	83
Tablo 3.10. Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği (IUCN) kırmızı listesine göre, Marmara Denizi'ndeki balık türlerinin durumları.....	95
Tablo 3.11. Değerlendirmede dikkate alınan kirleticiler.....	98
Tablo 3.12. Marmara Denizi sedimanlarının minimum, maksimum ve ortalama PAH konsantrasyonları ile ekosistem açısından etki sınır değerleri ile karşılaştırılması (ERL,ERM)	101
Tablo 3.13 Balık filetosunda ölçülen parametrelerin Türk Gıda Kodeksi (TGK) değerleriyle karşılaştırılması	108
Tablo 3.14. Ulusal İzleme Programı kapsamında Marmara Denizi'nde 2020, 2021 ve 2022 dönemlerinde yüzey sularında ortalama mikroplastik konsantrasyonu $\pm$ std sapma (adet.m ⁻³)	119
Tablo 3.15. Marmara Deniz'inde 2014-2022 dönemleri arasında yüzey sularında ortalama mikroplastik konsantrasyonu (adet.m ⁻³).....	120
Tablo 3.16. Ulusal İzleme Programı kapsamında Marmara Denizi'nde 2020, 2021 ve 2022 dönemlerinde su kolonunda ortalama mikroplastik konsantrasyonu (adet.m ⁻³).	120
Tablo 3.17 Ulusal İzleme Programı kapsamında Marmara Denizi'nde 2014-2022 dönemleri arasında su kolonunda ortalama mikroplastik konsantrasyonu (adet.m ⁻³)	121
Tablo 3.18. Marmara Denizi'nde 2020, 2021 ve 2022 dönemlerinde sedimentte ortalama mikroplastik konsantrasyonu (adet.l ⁻¹).....	122
Tablo 3.19. Ulusal İzleme Programı kapsamında Marmara Denizi'nde 2014-2022 dönemleri arasında sedimentte ortalama mikroplastik konsantrasyonu (adet.l ⁻¹)	123
Tablo 3.20. İstasyonlara göre toplam katı atıkların miktarı ve ağırlıkları (2021).....	126

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Özet Raporda denizlerin betimsel olarak bağlantılı ekosistem bileşenlerine ve baskılara genel bir bakış.....	15
Şekil 3.1. Marmara Denizi 2014-2022 dönemi izleme istasyonları, kıyı su yönetim birimleri (SYB 1-22) ve deniz değerlendirme alanları haritası.....	19
Şekil 3.2. MD103 istasyonunda 2014-2022 yılları arasında ölçülen sıcaklık, tuzluluk ve sigma-theta profilleri. Üst panel: Kış, orta panel: İlkbahar, alt panel: Yaz.....	22
Şekil 3.3. 45C istasyonunda 2016-2022 yılları arasında ölçülen sıcaklık, tuzluluk ve sigma-theta profilleri. Üst panel: Kış alt panel: Yaz.....	24
Şekil 3.4. Marmara Denizi ana eksenini boyunca yer alan 4 istasyonda (MD101-MD103-MD104-45C) 2020-02, 2020-08, 2021-01, 2021-04, 2021-07, 2022-01 seferlerinde ölçülen sıcaklık, tuzluluk ve sigma-theta profilleri.....	25
Şekil 3.5. İskele inşası kazık çakma faaliyeti öncesi ve esnasındaki enerji/frekans analizi.....	27
Şekil 3.6. 2014-2022 örnekleme dönemlerinde NO _x SYB yüzey suyu ortalama konsantrasyonları (0-10 m) Kış (a), İlkbahar (b) ve Yaz (c).....	31
Şekil 3.7. 2014-2022 örnekleme dönemlerinde Ortofosfat (PO ₄ ³⁻) SYB yüzey suyu (0-10 m) ortalama konsantrasyonları Kış (a), İlkbahar (b) ve Yaz (c).....	31
Şekil 3.8. 2014-2022 yılları arası kış döneminde NO _x SYB yüzey suyu (a) ve ara tabaka (b) ortalama konsantrasyonları.....	32
Şekil 3.9. Çözünmüş oksijenin 2014-2022 döneminde Çanakkale Boğazı-Marmara kesişimi ile Marmara-İstanbul Boğazı kesişim bölgelerindeki düşey değişimleri.....	33
Şekil 3.10. Marmara Denizi dip sularında 2022 yılı çözünmüş oksijen dağılımı.....	34
Şekil 3.11. Çözünmüş Oksijenin Doğu derin Marmara çukurundaki tarihsel değişimi (a), Doğu Marmara çukuru alt sularındaki Çözünmüş Oksijen Değişimi (b).....	35
Şekil 3.12. 2014-2022 örnekleme dönemlerinde SYB ve Marmara Denizi kuzey (MRMDK) ve güney (MRMDG) açık sularında saptanan klorofil-a yüzey suyu ortalama konsantrasyonları.....	36
Şekil 3.13. Marmara Denizi kıyı su kütlelerinde 2014-2022 döneminde ölçülen (0-10 m) kış: mavi (2015, 2016, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022), ilkbahar: yeşil (2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022) ve yaz: kırmızı (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022) dönemi ortalamaları ve std.sapmaları.....	36
Şekil 3.14. Marmara Denizi kuzey ve güney deniz değerlendirme alanları 2014-2022 dönemi yüzey tabaka (0-10m ortalama) klorofil-a konsantrasyon karşılaştırılması (DK:Marmara Denizinin Kuzeyi açık istasyonlar, DG: Marmara Denizinin Güneyi açık istasyonlar.....	37
Şekil 3.15. 2014-2022 örnekleme dönemlerindeki Seki disk derinliği SYB ortalama değerleri.....	38
Şekil 3.16. Yönelim analiz yöntemi.....	39
Şekil 3.17. 2014-2019 örnekleme dönemlerindeki yüzey suyu TRIX değerlerinin SYB ve DDB kış (mavi) ve yaz (kırmızı) ortalama değerleri.....	41
Şekil 3.18 Gemlik Körfezi Farklı Model sonuçları (Sunar F. ve ark., 2022).....	42
Şekil 3.19 İzmit Körfezi Farklı Model sonuçları (Sunar F. ve ark., 2023a).....	43
Şekil 3.20 İzmit Körfezi mekânsal dağılımını tematik haritaları (Sunar F. ve ark., 2023b)....	44
Şekil 3.21 Ekim 2021 ve 2022'de gerçekleştirilen yersel ölçümler sırasında, iki parametre için en iyi tahmin performansını gösteren ML regresyon modellerinin mekânsal dağılımı: (a) Klorofil-a ve (b) SDD (Sunar F. ve ark., 2024).....	45
Şekil 3.22. 2014-2022 İzleme dönemlerinde fitoplankton gruplarının baskınlık durumları (%).....	46
Şekil 3.23. Fitoplankton gruplarının mevsimsel kompozisyonu.....	47

Şekil 3.24. Marmara Denizi yüzey suyunda fitoplankton tür sayısı değişimi (Üst: Kış, Orta: İlkbahar, Alt: Yaz).....	48
Şekil 3.25. Marmara Denizi yüzey suyunun toplam fitoplankton bolluğu değişimi (Üst: Kış, Orta: İlkbahar, Alt: Yaz)	50
Şekil 3.26. Diatom/Dinoflagellat Oranı değişimi.....	52
Şekil 3.27. Marmara Denizi'nde Shannon indeksine (H') göre tür çeşitliliği değişimi (Üst: Kış, Orta: İlkbahar, Alt: Yaz).....	53
Şekil 3.28. Toksik/Potansiyel zararlı tür sayılarının yıllara göre değişimi	54
Şekil 3.29. 2017-2022 yılları arasında Marmara Denizi zooplankton örnekleme istasyonları	56
Şekil 3.30. 2016-2022 yılları arasında zooplankton bolluk değerlerinin zamana bağlı değişimi	57
Şekil 3.31. (A) 2016-2022 yılları arasında üst tabaka baskın zooplankton gruplarının oransal dağılımlarının mevsimsel değişimleri, (B) 2017-2022 yılları arasında alt tabaka baskın zooplankton gruplarının oransal dağılımlarının mevsimsel değişimleri	58
Şekil 3.32. Kış mevsimi baskın zooplankton gruplarının istasyonlara göre oransal dağılımları	59
Şekil 3.33. İlkbahar mevsimi baskın zooplankton gruplarının istasyonlara göre oransal dağılımları	60
Şekil 3.34. Yaz mevsimi baskın zooplankton gruplarının istasyonlara göre oransal dağılımları	61
Şekil 3.35. 2016- 2022 yılları arasında tür sayısı (S), Pielou düzenlilik (J') ve Shannon çeşitlilik ($H' \log_2$) indekslerinin mevsimsel değişimleri ve alansal dağılımı.....	62
Şekil 3.36. 2016-2022 yılları arasında <i>N. scintillans</i> türüne ait bolluk değerlerinin zamansal değişimi	63
Şekil 3.37. 2016-2022 yılları arasında baskın medüz türlerinin oransal dağılımlarının mevsimsel değişimleri.....	64
Şekil 3.38. 2016-2022 yılları arasında öne çıkan durumların çizelgesi	65
Şekil 3.39. Marmara Denizi makroflora istasyonları	66
Şekil 3.40. Marmara Denizi istasyonlarının 2021 yılı ESG I ve ESG II gruplarının takson sayıları	67
Şekil 3.41. 2021 yılı Marmara denizi istasyonlarının ESG I ve ESG II türlerinin ortalama örtü değerleri (% olarak) ile EEI-c değerleri	69
Şekil 3.42. Marmara Denizi makro flora istasyonları 2014-2022 ESG I ve ESG II % örtü değişimleri.....	70
Şekil 3.43 <i>Gongolaria barbata</i> (Mudanya).....	72
Şekil 3.44 Toleranslı yeşil alg <i>Ulva rigida</i> (Hereke)	72
Şekil 3.45. Marmara Denizi istasyonlarının MA-LUSI ve EEI-c değerlerinin ilişkisi.	72
Şekil 3.46. Marmara Denizi istasyonlarının MA-LUSI ve MARFEI değerlerinin ilişkisi.	74
Şekil 3.47. Marmara Denizi deniz çayırı <i>Posidonia oceanica</i> izleme istasyonları.....	75
Şekil 3.48. Paşalimanı Adası izleme istasyonunun Drone görüntüsü (2018, O.Akyol).	76
Şekil 3.49. Paşalimanı Adası izleme istasyonunda balisaj ve fotoğraf işaretleyicilerinin konumu.	76
Şekil 3.50. Paşalimanı Adası izleme istasyonunun sağ yan ve üst taraf fotoğraf çekimleri. ...	76
Şekil 3.51. MPS01 (Paşalimanı Adası) <i>P. oceanica</i> izleme istasyonunda 2021 örnekleme döneminde müsilaj oluşumu ve 2022 yılı görüntüsü	77
Şekil 3.52. Marmara Denizi'nde 2021 yılında makrozoobentik örneklemelerin yapıldığı istasyonlar.....	78
Şekil 3.53. Marmara Denizi'nde 2014-2021 yılları arasında tespit edilen makrozoobentik tür ve birey sayısı.....	79

Şekil 3.54. Marmara Denizi'nde 2014-2021 yılları arasında tespit edilen makrozoobentik tür ve birey sayısının taksonomik gruplara dağılımı	79
Şekil 3.55. Marmara Denizi'nde 2014-2021 döneminde tespit edilen en baskın türler ve baskınlık değerleri (%).....	80
Şekil 3.56. Marmara Denizi'nde 2014-2021 yıllarında istasyonlara tespit edilen toplam tür sayıları	81
Şekil 3.57. TUBİ değerlerine göre Marmara Denizi yumuşak substratum istasyonlarının yıllara bağlı ekolojik kalite durumları	82
Şekil 3.58. Marmara Denizi'nde 2014-2021 yılları arasında tespit edilen yabancı türlere ait tür ve birey sayısı.....	82
Şekil 3.59. Marmara Denizi'nde yıllara bağlı olarak yabancı tür ve birey sayısının toplam tür ve birey sayısına oranları.....	83
Şekil 3.60 Marmara Denizi'ndeki sert substratum ve liman istasyonları.....	84
Şekil 3.61 Marmara Denizi sert substratum istasyonlarındaki baskın türler.....	84
Şekil 3.62 Marmara Denizi sert substratum istasyonlardaki ortalama tür ve birey sayıları ile + Standart Hatası (SH).....	85
Şekil 3.63 Marmara Denizi sert substratum istasyonlarında ekolojik grupların ortalama yüzdeleri.	85
Şekil 3.64 Ortalama TUBİ değerlerine göre Marmara Denizi sert substratum istasyonlarının ekolojik kalite durumları	86
Şekil 3.65 Marmara Denizi'nde Haydarpaşa Limanında 2021 yılında yabancı/istilacı tür çalışması örneklemelerin yapıldığı istasyonlar	86
Şekil 3.66. Ortalama TUBİ değerlerine göre Haydarpaşa Limanı yumuşak substratum istasyonlarının ekolojik kalite durumları.....	87
Şekil 3.67. Kırmızı alg <i>Grateloupia turuturu</i>	87
Şekil 3.68. Marmara Denizi dip trol ve algarna ile deniz tabanı biyoçeşitliliği ve katı atıkları çalışma bölgeleri	88
Şekil 3.69. Av kompozisyonunda yer alan taksonomik grupların sayısal ve ağırlıksal dağılımı	88
Şekil 3.70. Av kompozisyonunda yer alan türlerin görünme sıklığı.....	89
Şekil 3.71. 2016, 2019 ve 2021 yıllarına ait istasyonlara göre demersal balık bolluk ve biyokütle değerleri (kg/km ²)	91
Şekil 3.72. İstasyonlara göre toplam demersal balık bolluk değerleri (adet/km ²)	91
Şekil 3.73. İstasyonlara göre toplam demersal balık biyokütle değerleri (kg/km ²)	91
Şekil 3.74. 2016, 2019 ve 2021 yıllarına ait istasyonlara göre makrozoobentik türlerin bolluk ve biyokütle değerleri (kg/km ²).....	92
Şekil 3.75. İstasyonlara göre toplam makrozoobentik türlerin bolluk değerleri (adet/km ²)....	93
Şekil 3.76. İstasyonlara göre toplam makrozoobentik türlerin biyokütle değerleri (kg/km ²)..	93
Şekil 3.77. 2016, 2019 ve 2021 yıllarında araştırma istasyonlarda tespit edilen tür sayısı.....	94
Şekil 3.78. 2016, 2019 ve 2021 yıllarında araştırma istasyonlarda tespit edilen tür zenginliği	94
Şekil 3.79. 2016, 2019 ve 2019 yıllarında araştırma istasyonlarda tespit edilen tür çeşitliliği	94
Şekil 3.80. Marmara Denizi sediman örneklerinin tane boyu dağılım haritası (2021)	99
Şekil 3.81. Marmara Denizi sediman örneklerinin tane boyu dağılım haritası (2021)	99
Şekil 3.82. Marmara Denizi yüzey sedimanlarında organik karbon yüzdeleri (2021).....	100
Şekil 3.83. Marmara Denizi sedimanlarında PAH kaynaklarını gösteren PAH'ların izomerik oranlarının çapraz çizimleri.....	102
Şekil 3.84. Marmara Denizi sediman örneklerinin 2-3-4-5-6 halkalı PAH'ların mekânsal dağılımı (LMW:2-3 halkalı; HMW:4-5-6 halkalı).....	102

Şekil 3.85. Marmara Denizi sediman istasyonlarında organik kirletici (Toplam PAH, Toplam DDT ve türevleri ile Toplam PCB) bulgularının ERL değerlendirmesi ile kalite sınıflandırması	102
Şekil 3.86. Marmara Denizi sedimanlarında DDT ve türevlerinin % dağılımı.....	103
Şekil 3.87. Marmara Denizi yüzey sedimanlarında DDT ve türevlerinin oran ilişkisi.....	104
Şekil 3.88. Marmara Denizi sediman yönelim istasyonlarında metallerin yıllara göre değişimi (2014-2021)	105
Şekil 3.89. Marmara Denizi sediman istasyonlarında metal bulgularının ERL değerlendirmesi ile kalite sınıflandırması (2021)	106
Şekil 3.90. Marmara Denizi sediman istasyonlarında metal bulgularının ZF değerlendirmesi ile kalite sınıflandırması (2021)	106
Şekil 3.91. Marmara Denizi 2019 yılı biyota örnekleme istasyonları.....	107
Şekil 3.92. 2014-2022 yılı arasında midye’de ağır metal parametrelerinin değişimi	110
Şekil 3.93. 2014 2022 yılları arasında midye’de Benzo(a)pyren, Toplam PAH ve Toplam PCB parametrelerinin değişimi (° aykırı değer, *ekstrem değer)	111
Şekil 3.94. Deniz suyunda doğal radyoizotop konsantrasyonları (2015-2022)	115
Şekil 3.95. Deniz suyunda antropojenik ve kozmojenik radyoizotop konsantrasyonları (2015-2022), e. Sezyum, f. Stronsiyum ve g. Tritiyum	115
Şekil 3.96. Sedimanda doğal ve antropojenik radyoizotop konsantrasyonları (2015-2022), a. Potasyum, b.Radyum, c.Toryum ve d. Sezyum	117
Şekil 3.97. Marmara Denizi mikropplastik örnekleme istasyonları.....	118
Şekil 3.98. Marmara Denizi yüzey sularında rastlanılan mikropplastik tiplerinden bazıları ...	119
Şekil 3.99. Marmara Denizi su kolonunda rastlanılan mikropplastik tiplerinden bazıları.....	121
Şekil 3.100. Marmara Denizi sedimanlarında rastlanılan mikropplastik tiplerinden bazıları..	123
Şekil 3.101. Hersek plajı sahilde çöp çalışması örnekleme alanı (2020-2022).....	124
Şekil 3.102. Hersek plajında çöp ağırlık (a) ve sayı (b) dağılımı (2022).....	125
Şekil 3.103. 2020-2022 yılları sonbahar dönemi Hersek Plajının Temiz Kıyı İndeks karşılaştırması.....	125
Şekil 3.104 İstasyonlara göre tespit edilen katı atık grupları	126
Şekil 3.105. Katı atık gruplarının sayısal ve ağırlık olarak yüzde dağılımı (2021)	127
Şekil 3.106. 2016, 2019 ve 2021 yıllarına ait istasyonlara göre katı atık miktarı (adet/km ²) ve katı atık ağırlığı (kg/km ²)	127
Şekil 3.107. Marmara Denizi LUSIV al haritası	129
Şekil 3.108. Marmara Denizi kıyı su kütleleri ekolojik durum değerlendirmesi (2014-2022)	132
Şekil 3.109. Marmara Denizi sediman istasyonlarında kirleticilerin % dağılımları (2014-2021)	134

KISALTMA VE TANIMLAR

Kısaltmalar

AB: Avrupa Birliği

Al: Alüminyum

ANT: Antrasen

BDS: Bölgesel Deniz Sözleşmeleri (Akdeniz, Karadeniz, Baltık gibi) (Barselona, Bükreş, Helsinki gibi) (Regional Seas Conventions: RSC)

BKE: Biyolojik Kalite Elemanı

BSIMAP: Karadeniz Bütünleşik İzleme ve Değerlendirme Programı (Black Sea Integrated Monitoring and Assessment Programme)

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemi

Cd: Kadmiyum

Chl-a : Klorofil-a

CI: Common Indicator (IMAP Ortak göstergeleri)

CIL: Soğuk ara tabaka

CIS: Ortak Uygulama Stratejisi (WFD-Common Implementation Strategy)

Cr: Krom

CTD: Conductivity, Temperature, Depth (İletkenlik, Sıcaklık, Derinlik)

Cu: Bakır

ÇIN: Çözünmüş İnorganik Azot (DIN: Dissolved Inorganic Nitrogen)

ÇKS: Çevre Kalite Standartları (EQO: Environmental Quality Objectives)

ÇO: Çözünmüş Oksijen

ÇŞİDB: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı

DEN-İZ: Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı

DDA/DDB: Deniz Değerlendirme Alanı (Birimi)

DeKoS: Deniz ve Kıyı Suları Kalite Durumlarının Belirlenmesi ve Sınıflandırılması Projesi

DISSP: Deniz İzlemelerinde Standardizasyonun Sağlanması Projesi

DSÇD: Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (2008/56/EC) (MSFD: Marine Strategy Framework Directive)

EEL: Ekolojik Değerlendirme İndeksi (Ecological Evaluation Index)

EKO: Ekolojik Kalite Oranı (WFD- Ecological Quality Ratio: EQR)

ERL: Düşük Etki Aralığı (Effects Ranges Low)

ERM: Orta Etki Sınır değeri (Effects Range Median)

ESG I / ESG II: Ekolojik Durum Grup I/II (Ecological State Group I / Group II)

FLTH: Floranten

H': Shannon-Weiner (tür çeşitlilik) İndeksi

HEAT: HELCOM Eutrophication Assessment Tool (Ötrofikasyon Değerlendirme Aracı)

Hg: Civa

IMAP: Bütünleşik İzleme ve Değerlendirme Programı (Integrated Monitoring and Assessment Programme of UNEP/MAP for the Mediterranean)

İÇD: İyi Çevresel Durum (GES: Good Environmental Status)

J': Pileu düzenlilik İndeksi

ka: Kuru ağırlık

KAAY: Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği

KAAYT: Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği

KOK: Kalıcı Organik Kirleticiler

m-AMBI: Çok değişkenli AZTI Deniz Biyolojik İndeksi (Multivariate AZTI Marine Biotic Index)

MARFEI: Marine Floristic Ecological Index

MaQI: Makrofit kalite indeksi (Macrophyte Quality Index)

MEDPOL: Akdeniz Kirlilik İzlenmesi Programı (UNEP/MAP MEDPOL)

Mn: Mangan

NH₄-N: Amonyum Azotu

NO₃+NO₂-N: Nitrat+Nitrit azotu (NO_x)

ösa: Ölçüm Sınırının Altında (< LOD)

PAHs: Çok halkalı aromatik hidrokarbonlar

Pb: Kurşun

PCBs: Poliklorlu bifeniller

PHE: Fenantren

TPH: Toplam Petrol Hidrokarbonları

PO₄-P: Orto-fosfat

PYR: Piren

RAC/SPA: UNEP/MAP bünyesindeki, Özel Koruma Alanları Bölgesel Faaliyet Merkezi (Regional Activity Center/Specially Protected Areas)

S: Tuzluluk (Salinity)

SBE: Sea Birds Electronics (Üretici ve pazarlayan firma adı)

SÇD: Su Çerçeve Direktifi (WFD: Water Framework Directive)

SDD: Seki Disk Derinliği

Si: Reaktif Silikat

SYB: Su Yönetim Birimi (kıyı suları için SÇD kapsamında tanımlanan su yönetim birimleri)

T: Sıcaklık

TN: Toplam Azot (Total Nitrogen)

TP: Toplam Fosfor (Total Phosphorus)

TRIX: Denizler için trofik indeks

UNEP/MAP: Birleşmiş Milletler Çevre Programı/Akdeniz Eylem Planı (United Nations Environment Programme / Mediterranean Action Plan)

ya: Yaş ağırlık

ZF: Zenginleşme Faktörü

Tanımlar

Deniz suları: Bir ülkenin kendisini çevreleyen denizlerde hak iddaa edebileceği suların en dış sınırı içinde kalan suları, SÇD'de belirtilen kıyı suları ile birlikte, bunların deniz tabanı ve altını (DSÇD) tanımlar.

Deniz Değerlendirme Birimleri (DDB): Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (2008) kapsamında belirtilen deniz alt değerlendirme alanlarının oluşturulabileceği bilgisi çerçevesinde, DeKoS¹ projesinde baskıların ve ekolojik/hidrografik unsurların dikkate alınması ve uzman görüşleri ile oluşturulan deniz değerlendirme birimleridir. Bu birimler kıyı sularının uzantısı olarak tanımlanır, değerlendirmelerde ise çoğunlukla kıyı suları dışında kalan istasyonlar dikkate alınır. Marmara Denizi için İzmit Körfezi ve Haliç dışında kalan ve boğazların da dahil olduğu sistem tek bir deniz alanı olarak tanımlanmış olsa da (DeKoS), izleme sonuçlarının (DEN-İZ Programı) değerlendirilmesinde Marmara Denizi (Boğazlar hariç) kuzey ve güney derin istasyonları gruplanarak iki alt birim oluşturulmuştur.

Ekolojik durum: Sucul ekosistemlerin yapı ve fonksiyonlarındaki kaliteyi ifade eder. Su Çerçeve Direktifi'ne göre kıyı suları için 3 biyolojik kalite elemanı (fitoplankton, bentoz, makro alg) ile diğer destekleyici parametrelerin (besin elementleri; toplam fosfor, oksitlenmiş inorganik azot (nitrat+nitrit), Seki Disk Derinliği) ortak değerlendirmesi yapılarak ortaya konulur ve 5 kalite sınıfı olarak değerlendirilir.

Ekolojik Kalite Oranı: Farklı tipteki su kütlelerinin biyolojik kalitesinin ölçülmesi ve biyolojik kalite unsurlarının referans koşullar ile karşılaştırılarak tanımlanması için kullanılan orandır. 0-1 değerleri arasında değişmesi beklenir.

Geçiş Suyu: Nehir ağızları civarındaki, kıyı sularına yakın olup aynı zamanda tatlı su akıntılarından önemli ölçüde etkilenmeleri sonucunda kısmen tuzlu olma özelliğine sahip yüzeysel su kütleleridir.

İyi Çevresel Durum: Deniz sularının, ekolojik olarak zengin, dinamik, kullanım açısından sağlıklı, temiz ve devamlılığa sahip ve gelecekteki ihtiyaçları karşılayacak şekilde sürdürülebilirliğinin garanti edilebildiği çevresel durumu temsil eder.

Kıyı Suyu: Türkiye kıyılarının en dış uç noktalarından çizilen düz hat esas alınarak deniz tarafına doğru 1 deniz mili (1852 m) mesafeye uzanan suları ve bunların deniz tabanı ve altını ifade eder.

Kıyı Su Kütleleri (Su Yönetim Birimi): Su Çerçeve Direktifi (2000/60/EC) kapsamında ele alınan kıyı su yönetim birimleridir. Yüzey sularının önemli özelliklerle - fiziksel, hidromorfolojik, ekolojik kalite ve baskıların değerlendirilmesi ile ayrıştırılmış yüzey suyu bölümünü tanımlar.

Referans koşullar: Her bir su kütlesi tipolojisi için tahrip edilmemiş durumu ve ekolojik kalite oranı ölçeğinde çok iyi durumu yansıtan koşulları ifade eder.

¹ DEKOS projesi (TÜBİTAK-MAM, ÇŞB-ÇYGM; 2014) kapsamında belirlenmiştir. Bunun için öncelikle deniz yetki alanlarımız tanımlanmış daha sonra tüm denizlerimiz farklı ekosistem özellikleri, baskılar ve oşinografik özellikler göz önüne alınarak alt bölgelere ayrılmıştır. Her bir alt bölge için farklı derinlik aralıklarının (<30, 30-200, >200m) dikkate alınması da önerilmiştir.

Sınıf Sınır Değerleri: Her bir su kütlesi tipoloji için yapılan ekolojik durum sınıflandırmasında yer alan, “çok iyi”, “iyi”, “orta”, “zayıf” ve “kötü” sınıfları arasındaki eşik değerlerinin nicel ifadesidir.

TRIX İndeksi: Trofik İndeks (TRIX) kıyı yüzey sularının trofik durumunun (ötrofikasyon) sınıflandırılmasında kullanılan bir skaladır.

1 GİRİŞ

Dünya yüzeyinin %70'den fazlasının su ile kaplı olması nedeniyle okyanuslar ve denizler yeryüzündeki yaşam için vazgeçilmezdir. Okyanus ve deniz ekosistemleri biyolojik çeşitlilik, genetik kaynak, gıda, biyoyakıt olmak üzere doğal kaynak sağlamakla birlikte deniz çayırları ve deniz bitkileri ormanlarıyla aynı zamanda büyük bir karbon yutağı olarak işlev görürler. Ancak antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan denizel ekosistemler üzerindeki gittikçe artan baskı ve iklim değişikliğinin etkileri; bu ekosistemlerin sürdürülebilir kullanımı ve korunmasına yönelik uluslararası ve ulusal düzeylerde girişimleri ortaya çıkarmış, sözleşmeleri doğurmuş ve bölgesel ve küresel işbirlikleri ile denizlerin ve okyanusların korunmasını gerekli kılmıştır.

Ülkemiz bölgesel bazda Karadeniz ve kıyıların çevresel sorunları ve bunlara çözümler oluşturan “Karadeniz’in Kirliliğe Karşı Korunması Sözleşmesi”ne (Bükreş Sözleşmesi) ve Akdeniz’in korunmasına yönelik olarak “Akdeniz’in Deniz Ortamı ve Kıyı Bölgesinin Korunması Sözleşmesi”ne (Barselona Sözleşmesi) taraftır. Ayrıca, iç denizimiz olan Marmara Denizi ve Boğazlar Sistemi için 2021 yılında “Marmara Koruma Eylem Planı” oluşturulmuş ve 4 Kasım 2021 tarihli ve 4758 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı ile “Marmara Denizi ve Adalar” Özel Çevre Koruma Bölgesi statüsüne kavuşmuştur.

Bilimsel yöntemle oluşturulan güvenilir ve süreklilik arz eden veriye dayalı, deniz ve kıyıların izlenmesi çalışmaları; söz konusu koruma ve çevre kalitesinin iyileştirilmesi önlemlerinin deniz ekosistemlerine etkilerinin takibi ve oluşturulan eylem planı ve politikaların değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir.

Gerek taraf olduğumuz Bölgesel Deniz Sözleşmeleri gerekse ulusal mevzuatımız ile oluşturulan koruma ve kirliliğin önlenmesi politikalarının takibi ve

denizlerin kalite durumlarının ortaya konulması amacı, izleme programlarının oluşumunu sağlamıştır.

Ülkemizdeki deniz izleme çalışmaları 1990’lı yıllarla birlikte söz konusu sözleşmeler doğrultusunda münferit çeşitli programlar ve projeler kapsamında başlamıştır. 2011 yılında ise tüm denizlerimizde ortak olarak uygulanabilecek bir izleme stratejisi ve altlığı SINHA Projesi ile geliştirilmiş (TÜBİTAK-MAM&ÇŞİDB, 2011) ve “Denizlerimizde Bütünsel Kirlilik İzleme Programı” (DEN-İZ Programı) olarak adlandırılarak uygulamaya konulmuştur. 2012 yılında çevresel izleme faaliyetleri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (ÇŞİDB) ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü bünyesinde toplanmıştır. Bu tarihten itibaren ise izlemeler bütüncül, düzenli, sürekli ve kesintisiz hale getirilmiş; 2014 yılından itibaren de izleme programı, 3’er yıllık periyotlar halinde yürütülen bir programa dönüştürülmüş ve izleme bileşen ve parametreleri, değerlendirme araçları geliştirilmiştir. ÇŞİDB ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü ve TÜBİTAK-MAM koordinasyonunda gerçekleştirilen, Ulusal Deniz İzleme Programı DEN-İZ ile tüm denizlerimizde meydana gelen kirlilik ulusal mevzuatımız, Barselona ve Bükreş Sözleşmeleri ve AB direktifleri çerçevesinde izlenmektedir. Program ile deniz ve kıyı yönetimi ile su ve toprak yönetimi stratejilerine, doğa koruma çalışmalarına, atık yönetimi politikalarına, kıyı planlamaları ve iklim değişikliği uyum faaliyetlerine bilimsel veri ve değerlendirmeler sağlanmaktadır. Aynı zamanda deniz kirliliğine ilişkin alınan tedbir ve önlemlerin etkinliğinin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bununla birlikte DEN-İZ Programında yer alan "Biyolojik Çeşitlilik" çalışmaları ile bulunan yeni türler uluslararası literatürde yerini almakta ve ülkemiz biyolojik

çeşitliliğine katkı sağlanmaktadır. DEN-İZ Programı'nda; Bölgesel Deniz Sözleşmelerinde yer alan izleme bileşenleri parametreleri ve Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (DSÇD) kapsamında izlenmesi gerekli parametrelerin birçoğu tüm denizlerimizde pilot ölçekli izlemeler veya daha sık yoğunluklu izlemeler şeklinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Değerlendirmeler ise; Su Çerçeve Direktifi (SÇD) ve DSÇD'ye göre belirlenen kıyı su kütleleri ve denizel alanlarda gerçekleştirilmektedir (ÇŞİDB&TÜBİTAK-MAM, 2015-2016). Aynı zamanda deniz izlemelerinde örnekleme, analiz ve değerlendirme metodolojilerinin standardizasyonunun sağlanması amacıyla ÇŞİDB ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü ve TÜBİTAK-MAM koordinasyonunda gerçekleştirilen DISSP Projesi ile 12 temada Deniz İzleme Kılavuzu hazırlanarak yayınlanmış ve kılavuzlarda denizlerimize yönelik izleme dönemleri ve sıklıkları tanımlanmıştır.

Bakanlığımızın yürütücülüğünü yaptığı Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme (DEN-İZ) Programı, ekosistem temelli yaklaşım esas alınmak suretiyle düzenli olarak TÜBİTAK-MAM koordinasyonunda; ülkemizdeki birçok üniversitenin deniz bilimleri ve su ürünleri enstitü/fakültelerinin bilim insanları, kamu kurum/kuruluşlarının uzmanlarının işbirliği ve katkılarıyla on yılı aşkın süredir başarılı bir şekilde yürütülmektedir. DEN-İZ Programının üçer yılı kapsayan ilk üç dönemi 2014-2022'de yılları arasında başarı ile tamamlanmıştır. Her izleme döneminde olduğu gibi programa ulusal ve uluslararası ihtiyaçlar doğrultusunda yeni izleme stratejileri eklenmekte, Mavi Kalkınma Yaklaşımı da benimsenerek iklim değişikliğine uyum politikalarına da katkı verecek şekilde geliştirilmektedir.

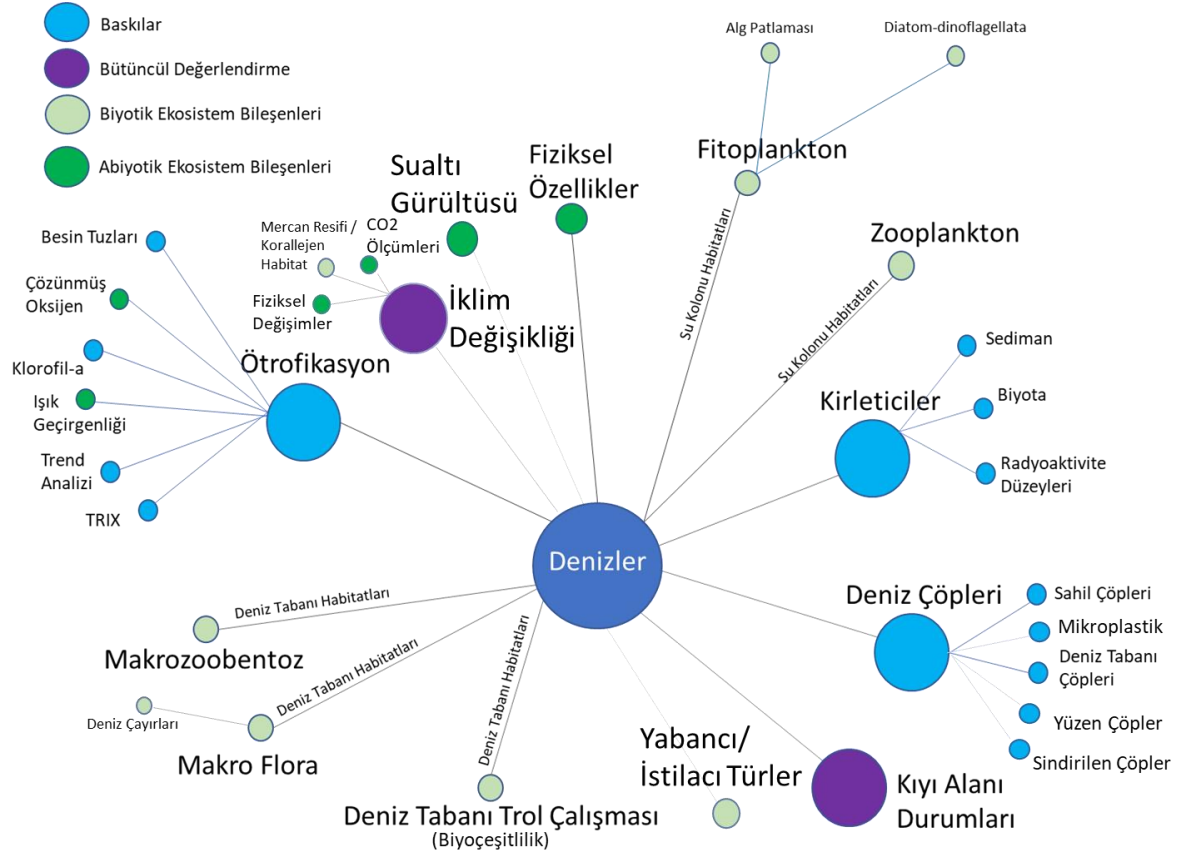
Bakanlığımızca, DEN-İZ Programı kapsamında üretilen veriler, bilgiler ve değerlendirilmelerin yaygınlaştırılması ve sonuçların paylaşılmasına yönelik olarak; sempozyumların düzenlenmesi, yayınların

oluşturulması, rapor ve bültenlerin yayınlanması gibi birçok farklı araç kullanılmaktadır. Düzenli ve her üç yıllık dönem sonunda yayınlanmakta olan Özet Rapor'lar da bu araçlardan birisidir. Özet raporlarla; denizlerimizdeki mevcut durumunun ortaya konulması, denizlerin sürdürülebilir kullanımı ve korunması politikalarında karar vericilere yol göstermek; geçmiş dönemlerle karşılaştırmalar yapılarak eğilim (trend) analizlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Bakanlığımızca Marmara Denizi için ilk özet rapor "Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2016 Marmara Denizi Özet Raporu" (ISBN: 978-605-5294-72-4) adıyla 2017 yılında yayınlanmıştır. İkinci döneme ait "Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2019 Marmara Denizi Özet Raporu" (ISBN: 978-625-7076-23-4) 2021 yılında yayınlanmıştır.

"Marmara Denizi Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı 2014-2022 Özet Raporu" başlıklı bu üçüncü raporun ana amacı Marmara Denizi deniz, kıyılarındaki ve ekosistemindeki kirlilik ve kalite durumunun belirlenmesidir.

Bu rapor kapsamında Marmara Denizi için 2014-2022 dönemini içeren 9 yıllık özet bir değerlendirme yapılmıştır. Raporun ikinci bölümünde yükümlülüklerimiz ve komşu denizlerimizde uygulanmakta olan bütüncül deniz yönetimi yaklaşımı çerçevesindeki ihtiyaçlarla olan ilişkisi tartışılmaktadır. Raporun üçüncü bölümünde ise izleme çalışmalarının sonuçları hidrografik koşullar, ötrofikasyon, deniz çöpleri, deniz tabanı habitatları, kirleticiler gibi izleme bileşeni bazlı olarak değerlendirilmektedir. İzleme parametrelerinde yıllara göre trendler oluşturulmakta, kıyı su yönetim birimleri üzerindeki baskılar değerlendirilmekte, ekolojik ve kimyasal kalite sınıflandırmaları belirtilmektedir.



Şekil 1.1. Özet Raporda denizlerin betimsel olarak bağlantılı ekosistem bileşenlerine ve baskılara genel bir bakış

2 YASAL ÇERÇEVE

Ülkemizin taraf olduğu Barselona ve Bükreş Sözleşmeleri ve Protokollerinin yükümlülükleri ile AB Su Çerçeve Direktifi (SÇD, 2000) ve Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (DSÇD, 2008) kapsamında ortak kriter ve yöntemler ile kıyı ve deniz sularımızın izlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye'nin her iki bölgesel sözleşmeye taraf olması ile izleme strateji ve uygulamalarının uyumlu olmasından dolayı ülkemizin sorumlu kuruluşları tarafından ilgili çalışmalar yapılmakta ve stratejiler geliştirilmektedir.

Ülkemizdeki izleme faaliyetleri, yukarıda belirtilen amaç ve kapsam doğrultusunda, özellikle kıyı sularında yer alan ve insan aktivitelerinden yoğun olarak etkilenmiş alanlarda 2000'lerin başlarından düzenli olarak organize edilmekte ve sonuçlar Odak Noktalıkları aracılığıyla Karadeniz, Akdeniz ve Ege Denizi için Bölgesel Deniz Sözleşmeleri (BDS) Sekreteriyalarına raporlanmaktadır. Özellikle ekosistem yaklaşımı yönetim temeline dayalı DSÇD ve bu yaklaşımı temel alan BDS'leri bölgesel izleme faaliyetlerini yeni yaklaşımlar ile tekrar düzenlemektedirler. Buna paralel olarak ülkemizde de özellikle etkilenmiş kıyı sularının ötesinde kalan açık deniz suları ve farklı çevresel unsurları da içine alan izleme programları aşamalı olarak organize edilmekte olup bu programlar, ulusal mevzuat ihtiyaçlarına da cevap verecek nitelikte planlanmaktadır. Her iki yasal aracın en önemli bileşenlerinden birisi "izleme ve değerlendirme" dir. Yasal düzenlemelerde "iyi ekolojik/çevresel

durum" hedefleri tanımlanır ve önlemler programlarının uygulanması ile bu hedeflere ulaşıp ulaşılamadığı izlenir. Son dönemde bu yönetim yaklaşımı Barselona ve Bükreş Sözleşmeleri programlarına da yansıtılmış olup UNEP/MAP kapsamında Akdeniz için "ekolojik hedefler" (UNEP/MAP 2013) tanımlanmış ve bu hedefler için takip edilmesi gereken ortak göstergeler Akdeniz için belirlenmiştir. Bu çalışmaları tamamlayan izleme programı da üye ülkelerce onaylanarak uygulamaya alınmıştır (UNEP/MAP 2016). Ayrıca, benzer prensiplerle hazırlanan yeni Karadeniz Bütünleşik İzleme ve Değerlendirme Programı (BSIMAP) 2017-2022 yıllarını kapsayacak şekilde güncellenmiş olup, 13 Ekim 2016 tarihinde onaylanmıştır.

İç denizimiz olan Marmara Denizi ve Boğazlar Sistemine yönelik olarak müsilaj ile mücadele için 2021 yılında "Marmara Koruma Eylem Planı" oluşturulmuştur. Eylem Planı kapsamında Marmara Denizi Havzası'nı iyi çevresel duruma ulaştırmak için politika ve stratejileri belirlemek ve uygulamak amacıyla "Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı" (2021-2024) yayınlanmıştır. Eylem Planı çerçevesinde 4 Kasım 2021 tarihli ve 4758 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı ile "Marmara Denizi ve Adalar" Özel Çevre Koruma Bölgesi statüsüne kavuşmuştur.

DEN-İZ Programı yukarıda bahsedilen ana yasal çerçeve ve ulusal mevzuatımızda yer alan izleme bileşenleri ve kriterleri temel alınarak, her bir denizimize yönelik olarak; ilgili denizin kendi dinamikleri de dikkate alınarak dizayn edilmektedir.

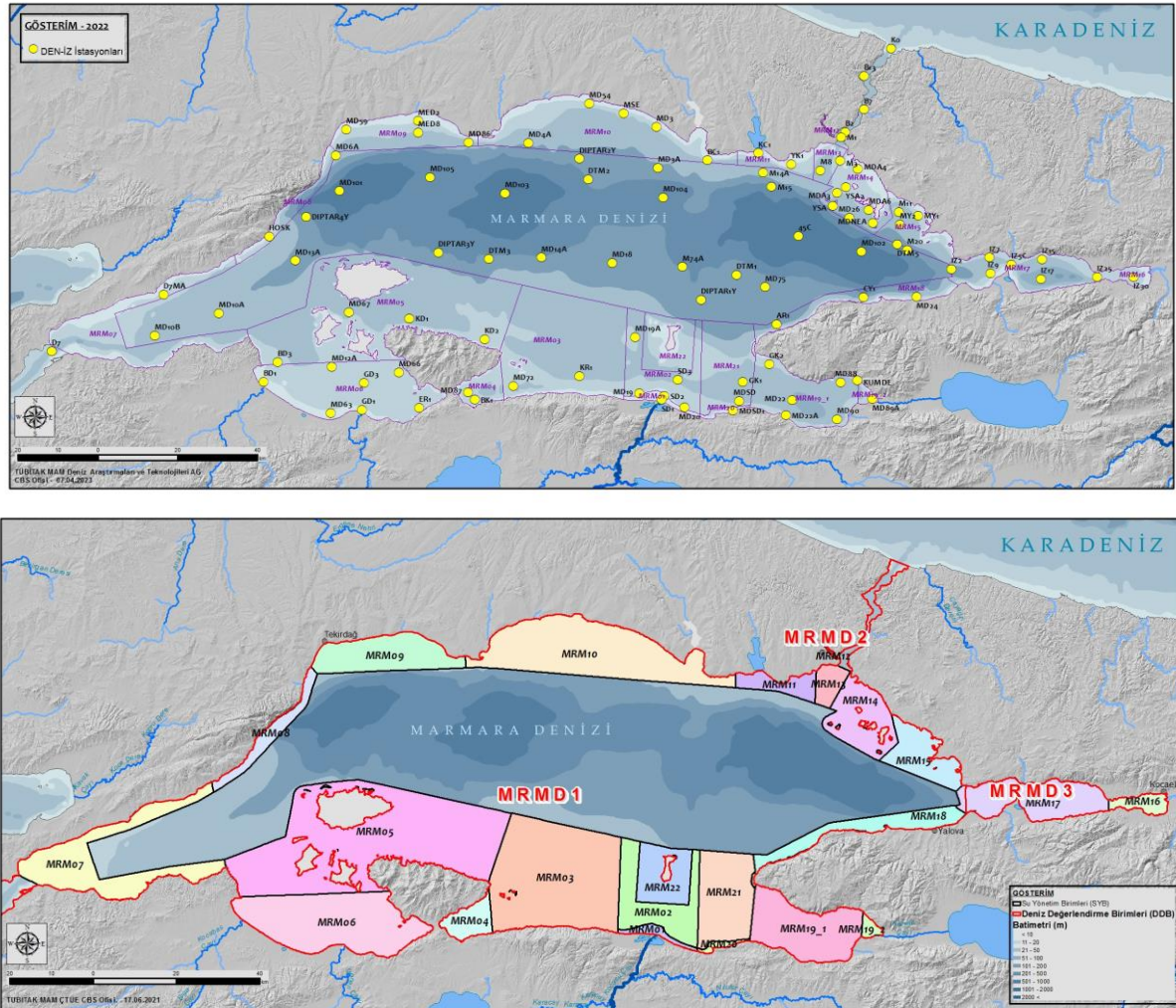
3 MARMARA DENİZİ BÜTÜNLEŞİK DENİZ İZLEME VE DEĞERLENDİRME SONUÇLARI

Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı (DEN-İZ) kapsamında, Marmara Denizi'nde 2014-2022 izleme dönemi için Şekil 3.1'de belirtilen 22 SYB içinde belirlenen ve sayısı her yıl artan eğilimde 59-102 arasında değişen istasyonda farklı izleme bileşenleri için örneklemeler ve yerinde ölçümler yapılmıştır.

Marmara Denizi İzleme Programı kapsamında, Tablo 3.1'de her bir izleme bileşeni için sayıları verilen istasyonlarda yaz ve kış dönemi trofik durum, biyolojik

çeşitlilik ve kirlilik izleme çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçların genel değerlendirmesi bu raporda özetlenmiştir.

İzleme çalışmalarında veri gereksinimleri birtakım unsurlar göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır. Bunlar; frekans, mekansal çözünürlük, güvenilirlik, doğruluk, verilerin erişilebilirliği: veri toplama ile veri kullanılabilirliği arasındaki süre olarak ifade edilebilir.



Şekil 3.1. Marmara Denizi 2014-2022 dönemi izleme istasyonları, kıyı su yönetim birimleri (SYB 1-22) ve deniz değerlendirme alanları haritası

Tablo 3.1. Marmara Denizi İzleme bileşenleri istasyon sayıları (Y: Yaz, K:Kış, İ:İlkbahar) (*T: DSÇD tanımlayıcılarıdır)

İzleme Bileşenleri	2014	2015		2016		2017		2018			2019			2020		2021			2022		
	Y	K	Y	K	Y	İ	Y	K	İ	Y	K	İ	Y	K	Y	K	İ	Y	K	İ	Y
Su kolonu (T5, T7)*	59	59	61	68	91	90	90	90	90	90	91	91	91	91	97	97	96	97	101	101	101
Fitoplankton (T1)	22	22	27	23	27	27	27	27	27	27	31	31	31	33	33	33	33	33	33	33	33
Zooplankton (T1)	0	0	0	0	19	16	9	15	16	16	16	14	16	16	16	16	16	20	20	20	20
Makrozoobentos (yumuşak substratum) (T1, T6)	20	0	20	0	20	0	20	0	0	20	26	26	26	0	0	0	0	28	0	0	0
Makrozoobentos (sert substratum) (T1, T6)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Makro flora (T1, T6)	14	0	15	0	15	0	15	0	0	15	0	0	21	0	0	0	0	22	0	0	0
Deniz çayırları pilot çalışması (T1,T6)	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
Mikroplastik-su, sediman (T10)	3	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	12	0	12	13	0	13
Kirleticiler-Sediman (T8)	12	0	12	0	27	0	0	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0
Kirleticiler-Biyota (T9, T8)	5	0	5	0	11	0	5	0	0	5	0	0	14	0	5	0	0	16	0	0	5
Radyoaktivite (T8)	1	0	5	0	4	0	4	0	0	4	0	0	4	0	4	0	0	4	0	0	4
Deniz tabanı balık ve katı atıkları (T1, T3, T10)	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	18	0	0	0
Sahilde çöp çalışması	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1

Programdaki izleme bileşenleri; DSÇD tanımlayıcılarına göre değerlendirildiğinde, ötrofikasyon (T5²: baskılar – durum - etki), kirleticiler (T8/T9), deniz çöpleri (T10), biyoçeşitlilik: su kolonu habitatları (T1) ve biyoçeşitlilik: deniz tabanı habitatları (T1/T6: makrozoobentos, makroflora ve balık) olarak gruplandırılmıştır.

Su kolonu fiziksel özellikleri de T1, T5 ve T7’yi destekler nitelikte izlemeler dahilinde değerlendirilmektedir. Buna göre, Tablo 3.1’de 2014-2022 izleme dönemlerinde her bileşen altında yapılan çalışmaların içerikleri, örnekleme matrisi (su, sediman, biyota) ile her dönemdeki istasyon sayıları yer almaktadır.

² Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (2008/56/EC) altında; denizlerde iyi çevresel duruma ulaşmak için 11 adet tanımlayıcı (T) tanımlanmıştır. Her bir tanımlayıcı altında o tanımlayıcının takibine yönelik olarak çeşitli göstegeler yer almaktadır.

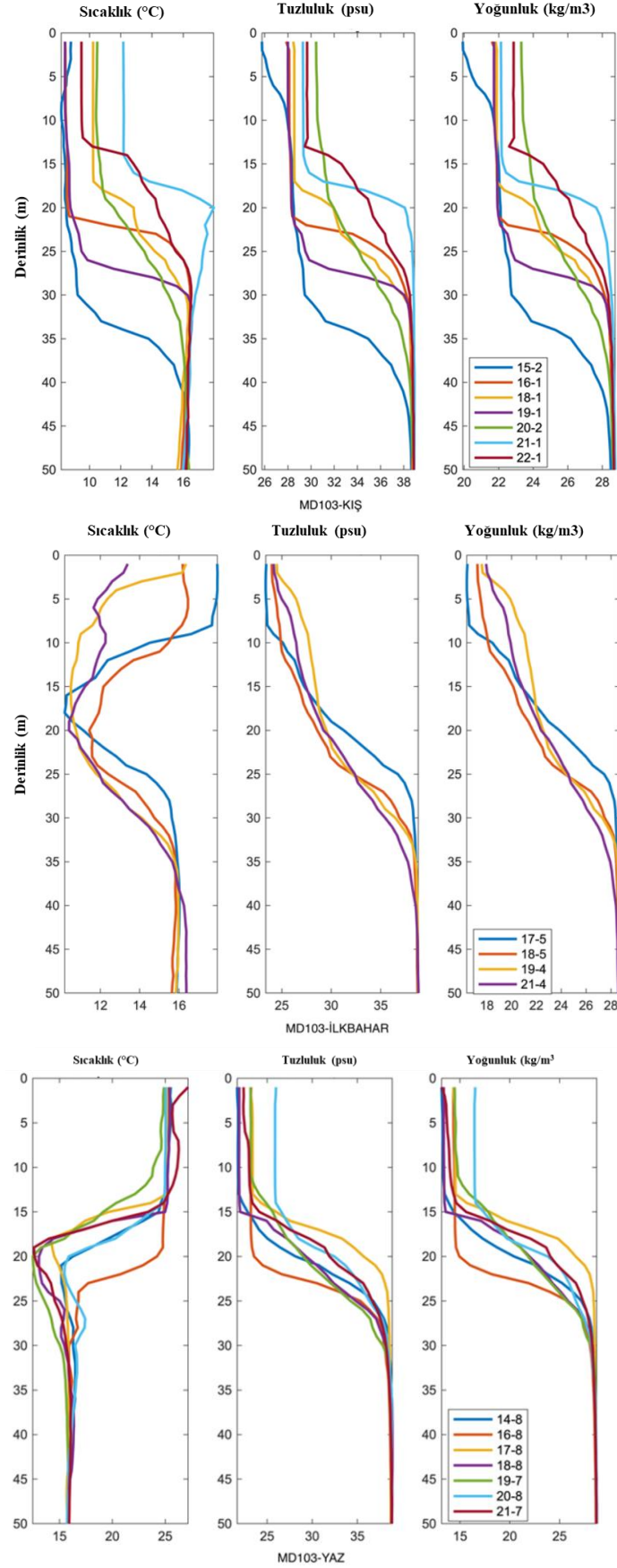
3.1 Su Kolonu Fiziksel Özellikleri

Boğazlar ve Marmara Denizi'ndeki iki tabakalı tabakalaşma ve akıntı sistemi, komşu denizler (Karadeniz ve Ege Denizi) arasındaki yoğunluk farklarından kaynaklanmaktadır. Karadeniz suları İstanbul Boğazı yoluyla Marmara Denizi'ne, daha yoğun olan Akdeniz suları ise Çanakkale Boğazını geçip Marmara Denizi'ne akmaktadır. Bu iki farklı su kütlesi ~25 m derinlikte güçlü bir piknoklin ile ayrılır. Düşük tuzluluktaki (~18 psu) Karadeniz suları havzanın üst 25 m'sini kaplar ve havzanın geri kalanı tuzlu (~38,5 psu) Ege suları tarafından doldurulur. Üst ve alt tabakalar sırasıyla 230 ve 3148 km³ hacminde olup ortalama yenilenme süreleri sırasıyla 4-5 ay ve 6-7 yıl olduğu tahmin edilmektedir.

Marmara Denizi'ndeki iki tabakalı yapının zaman içerisindeki değişimini göstermek amacıyla Marmara Denizi orta çukurunda (Marmara Çukuru) bulunan MD103 nolu istasyonda yapılan ölçümler mevsimlere göre ayrılarak Şekil 3.2'de sunulmuştur. Üst tabaka suları, büyük ölçüde İstanbul Boğazı'ndan geçiş sırasında ve Marmara Denizi'ndeki yerel ısıtma/soğutma ve karışım nedeniyle değişen Karadeniz suyunun mevsimsel özelliklerini yansıtır. Yaz aylarında ortalama 20 m olan üst tabaka kalınlığı kış aylarında 25 m'ye kadar derinleşir. Ancak yıllar arasında değişen atmosfer koşulları, özellikle de rüzgar nedeniyle, üst tabakanın kalınlığı ve ara tabakanın özellikleri çok büyük farklılıklar gösterir. 2015 Şubat ayında yapılan ölçümler üst tabakanın 35 m derinliğe kadar ulaştığını göstermektedir. Ancak üst tabaka tuzluluğunun düşük

olması bu derinleşmenin rüzgar karıştırmasından ötürü değil Karadeniz'den daha fazla suyun gelmesi nedeniyle olabilir. Üst tabaka sularının en yüksek kış ayı sıcaklığı 2021 yılı Ocak ayında, en yüksek tuzluluğu ise 2020 yılı Şubat ayında gözlenmiştir. En yüksek kış tuzluluğunun gözlemlendiği 2020 Şubat ayında aşırı rüzgar karıştırma olayları, ara tabakayı aşındırarak piknoklini zayıflatmış ve diğer yıllardan farklı bir yapı ortaya çıkmıştır. 2021 kış ayında gözlemlenen en yüksek kış ayı üst tabaka sıcaklığı, Karadeniz'den gelen suların yüksek sıcaklıkta olması nedeniyledir. Karadeniz bölümünde de belirtildiği gibi 2021 kışı bu bölgede en yüksek deniz suyu sıcaklıklarının gözlemlendiği dönemdir. Öte yandan düşey sıcaklık dağılımı, ara tabakanın hemen altında 17 °C gibi yüksek bir değere ulaşmakta ve diğer yıllara göre farklı bir yapı göstermektedir. Bunun yanı sıra üst tabakanın kalınlığı, 2022 Ocak ayında, en sığ (15m) kış değerine ulaşmaktadır. Su kolonundaki bu aşırılıklar 2021 yılı ve devamında gözlemlenen müsilaj dönemine rast gelmektedir ve müsilajın oluşumunda su kolonundaki bu farklı yapının neden olabileceği düşünülebilir.

Ölçümler esnasında ilk defa su kolonunda yükselme olayları gözlemlenmiştir. Kış aylarında kuvvetli poyraz sonucunda Yalova, Gemik ve Pendik civarında sırasıyla 2018 Ocak, 2022 Kasım ve Pendik Ocak dönemlerinde yüzeyde alt tabaka özellikleri tespit edilmiştir (Mutlu ve diğ, 2023). Bu durumun akut mu yoksa kronik mi olduğu araştırılmaktadır.

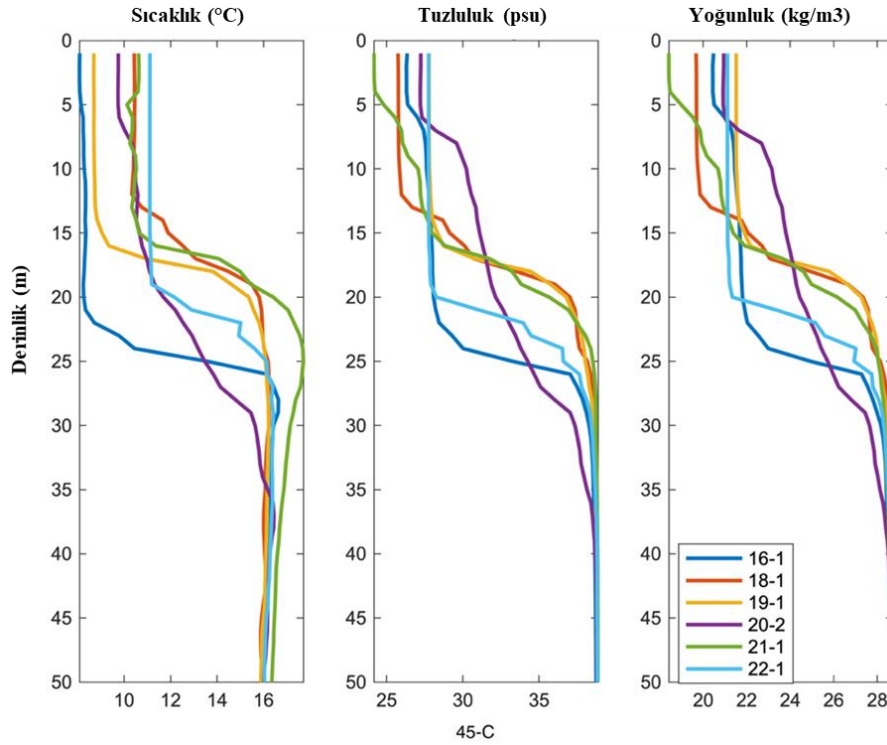


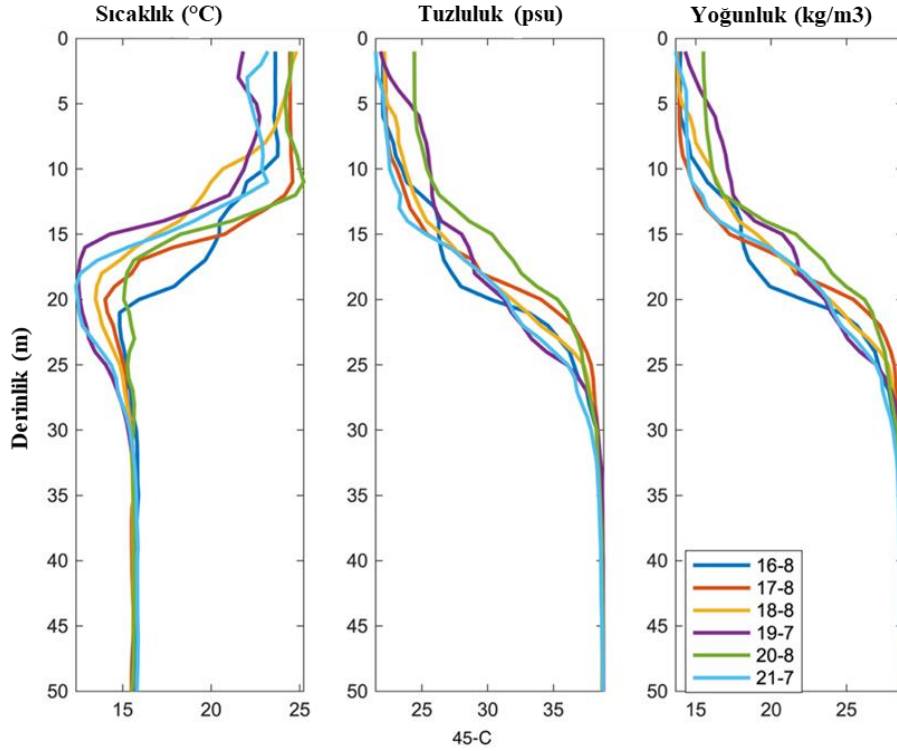
Şekil 3.2. MD103 istasyonunda 2014-2022 yılları arasında ölçülen sıcaklık, tuzluluk ve sigma-theta profilleri. Üst panel: Kış, orta panel: İlkbahar, alt panel: Yaz

Bahar mevsiminde güneş enerjisi üst 10 m'deki suyu ısıtır. Yerel kış soğumasının yanı sıra İstanbul Boğazı'ndan gelen adveksiyondan kaynaklanan Karadeniz'deki soğuk ara tabakasına (CIL) benzer şekilde haloklinde benzer bir Soğuk Ara Katman oluşur. CIL, her ne kadar 90'lı yıllarda gözlenen 8°C sıcaklıkta değil yaklaşık 10 °C gözlemlense de, yılın büyük bölümünde devam eder ve ilkbahar ve yaz aylarında yüzey sıcaklıklarıyla en yüksek kontrasta sahiptir.

Marmara Denizi doğu çukurunda (Çınarcık Çukuru) yer alan 45C istasyonunda yapılan ölçümlerde su kolonunun mevsimlik değişiminin havzanın doğusunda da benzer şekilde olduğunu göstermektedir (Şekil 3.3). Marmara Denizi'nin doğusundaki en büyük fark yüzey sularının tuzluluğunun daha düşük olmasıdır. Özellikle 2021 yılı kış mevsiminde yüzey tuzluluğu en düşük

değerdedir. 2021-1 seferinde üst 5m'de gözlemlenen düşük tuzluluk değerleri, İstanbul Boğazı jetinin direkt etkisini göstermektedir. Yukarıda da bahsedildiği üzere 2021 Karadeniz'den gelen suların en fazla geldiği yıl olup tüm havza boyunca düşük tuzluluk belirgindir. Bununla beraber, bir önceki yıl (2020-2) da üst tabakanın en sığ olduğu ve iki tabaka arasındaki ara tabakanın en geniş olduğu yıldır. Bütün bunlar bir arada değerlendirildiğinde 2020 yılı başından itibaren hem Karadeniz'den gelen sular hem de atmosfer koşulları farklılıklar göstermiştir. Bu durumda musilajın oluştuğu 2021 yılında su kolonu yapısının diğer dönemlerden farklılıklar gösterdiği ve musilaj olayının oluşumunun su kolonunun bu yapısı ile ilgili olabileceğini düşündürmektedir.



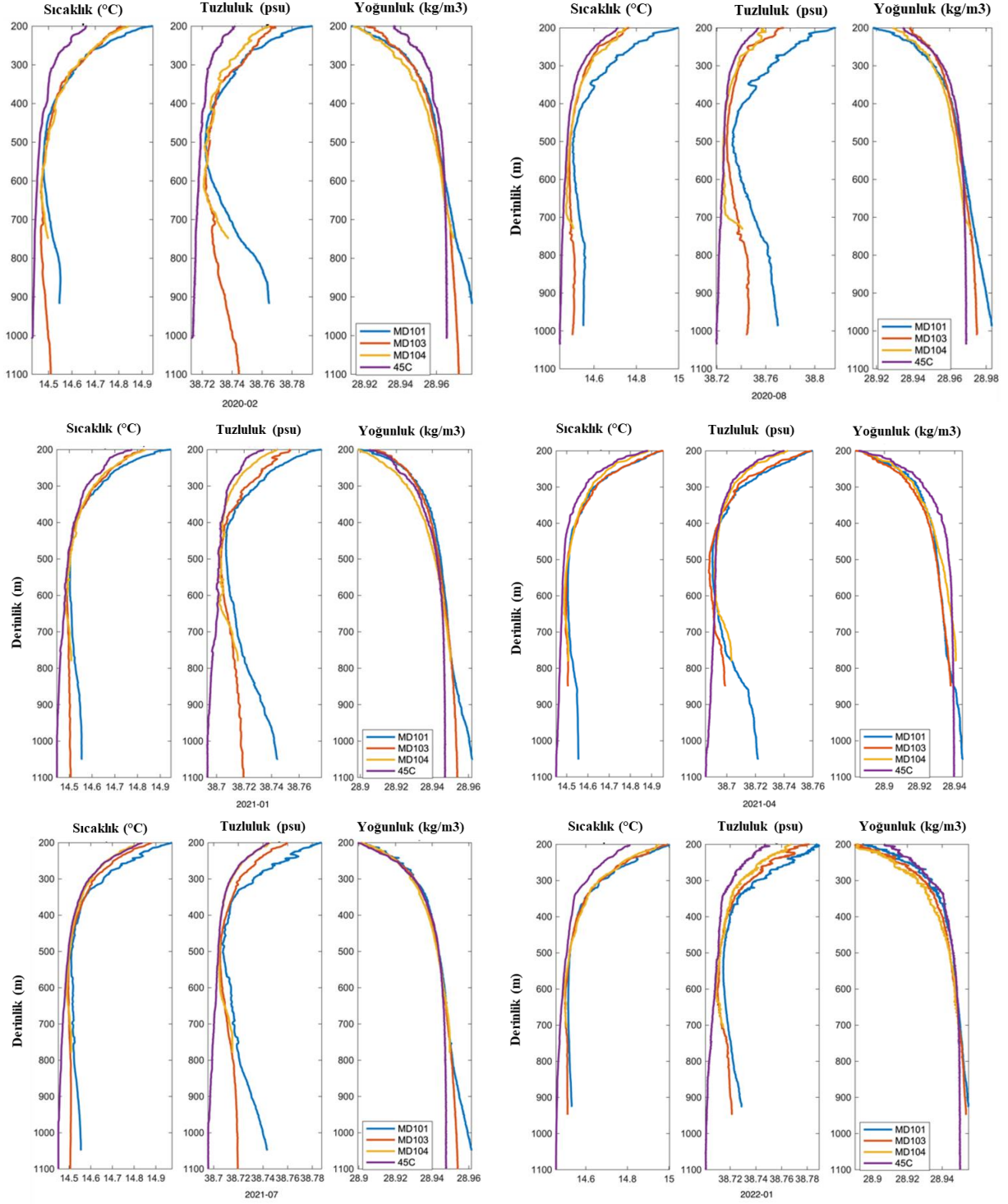


Şekil 3.3. 45C istasyonunda 2016-2022 yılları arasında ölçülen sıcaklık, tuzluluk ve sigma-theta profilleri. Üst panel: Kış alt panel: Yaz

Mevsimsel değişimler esas olarak doğrudan atmosfer ile etkileşimde olan üst katmanla sınırlıdır (derinlik <25 m), ve Akdeniz kaynaklı suların oluşturduğu alt tabaka, Ege Denizi'nden gelen suların mevsimlik değişimine göre şekillenmekte ve daha homojen bir yapı sergilemektedir. Marmara Denizi alt tabaka sularının Marmara Denizi ana eksenı boyunca mevsimlere/yıllara göre değişimi Şekil 3.4'de verilen düşey profiller ile gösterilmiştir. 2020 'den günümüze olan dönem müsilağ öncesi ve sonrası dönemi kapsamı açısından önemlidir.

Şekil 3.4'de alt sular oldukça homojen bir yapı sergilemekte ve 200 m altı sular 14.5°C sıcaklık, 38.74 tuzluluk ve 28.95 sigma-theta değerleri civarında küçük oynamalar göstermektedir ve oksijen konsantrasyonu 2 mg/L ile nispeten sabittir. Genel olarak havzanın doğusunda alt tabaka suları daha tuzludur. 200 m'lerde sıcak ve tuzlu olan sular derinlere doğru inildikçe azalmakta ve yaklaşık 500 m civarında bir minimum yaparak daha

derinlere doğru artmaktadır. Akdeniz'den gelen suyun daha tuzlu olduğu düşünüldüğünde 500 m'lerdeki tuzluluk minimumu su kolonunun bu bölgesinin havzanın diğer bölgelerine göre daha az ya da direkt olarak hiç yenilenmediğini göstermektedir. Kış aylarında Çanakkale Boğazı'ndan gelen göreceli soğuk/yoğun sular Marmara Denizi'nin en batısında yer alan Tekirdağ Çukuruna çöker (MD101). Daha sonraki dönemlerde, çöken bu sular oldukça yavaş bir hızla doğuya doğru hareket eder. Ancak 45C istasyonunda ölçülen profillerin yıllar içerisinde hemen hemen hiç değişmemesi doğu baseni alt sularının adveksiyonla değil difüzyonla yenilendiğini göstermektedir. Bu durum Marmara Denizi'nin doğusunda ciddi bir oksijen azalmasına ve ekolojik olarak ciddi problemler doğmasına neden olabilir. Öte yandan yıllar arasındaki farklılıklara bakılacak olursa, 2022 Ocak ayında gelen Ege sularının az olduğu değerlendirilmekte olup, önümüzdeki yıllarda izlemeye devam edilerek bu azalmanın kalıcı olup olmadığı belirlenmelidir.



Şekil 3.4. Marmara Denizi ana eksenı boyunca yer alan 4 istasyonda (MD101-MD103-MD104-45C) 2020-02, 2020-08, 2021-01, 2021-04, 2021-07, 2022-01 seferlerinde ölçülen sıcaklık, tuzluluk ve sigma-theta profilleri

3.2 Sualtı Gürültüsü

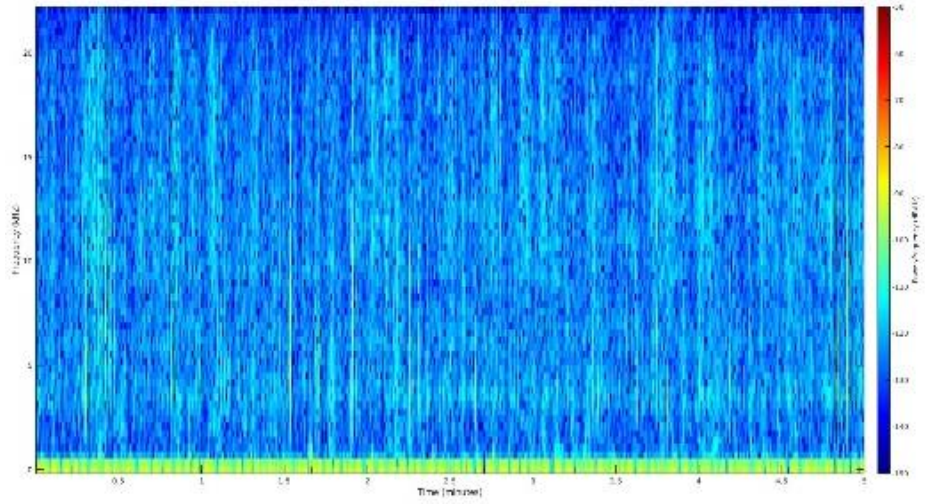
Balıklar ve omurgasızlar, ses basıncına ve ses dalgalarının yarattığı hareketlere karşı oldukça duyarlıdır. Denizcilik faaliyetlerinden kaynaklanan gürültü, deniz canlılarının kullandığı ses frekanslarıyla benzerlik gösterdiğinden, bu durum canlılarda fiziksel stres, algı bozuklukları ve davranış değişikliklerine yol açabilmektedir (Tasker ve diğ., 2010). “Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı (DEN-İZ)” 2020-2022 döneminde sualtı gürültüsü konusunda 3 belli başlı çalışma icra edilmiştir. Bunlardan ilki, ilk kez bir şamandıralı sistemle 1 ay boyunca kesintisiz sualtı gürültü ölçümleri alınmıştır.

1. İlk çalışma Koç Bilgi ve Savunma Teknolojileri A.Ş. ile gerçekleştirilmiştir. Marmara Denizi’nin tabakalı yapısına uygun olarak bir şamandıralı sistem geliştirilmiş ve 2021 yılı 22 Ekim – 22 Kasım tarihleri arasında 10 m ve 35 m derinliklerde sualtı gürültüsünün seviyesi tespit edilmeye çalışılmıştır. Şamandıra TÜBİTAK MAM kıyısından 250 metre kadar açıkta ve 50 metre derinliğe sahip bir konumda hem sualtı gürültüsü için ses kaydı almış, hem de ortamdaki gemi trafiğinin tespiti ve insan kaynaklı gürültülerin korelasyonu için her üç dakikada bir kamera görüntüleri almıştır. Sualtı kayıtları ise her 10 dakikada bir sunucuya 1 dakikalık kayıtlar halinde gönderilmiş ve DSÇD göstergesine göre değerlendirilmiştir. Bu göstergeye göre ortam gürültüsü merkez frekansları 63 Hz ve 125 Hz olacak şekilde 1/3 oktav bandındaki yıllık ortalama ses seviyesidir (1µPa RMS). Bu çalışmanın pilot olması sebebiyle yıllık yerine aylık bir veri seti değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan değerlendirmede ise beklendiği üzere deniz taşıtları düşük frekanslarda ses seviyesinin artmasına neden olmuşlardır. Normal şartlarda düşük frekanslarda 100 dB’nin

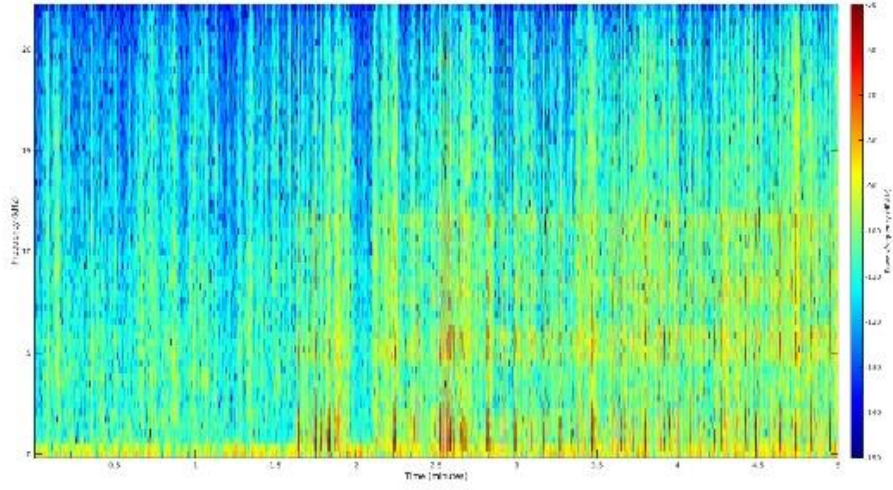
altında seyreden ortam gürültüsü, zaman zaman gemi trafiği nedeniyle 100 dB’nin üstüne çıkmıştır. Gürültünün 80 – 115 dB aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Öte yandan belirgin bir eğilim tespit edilememiştir. Bu nedenle yıllık ölçümlerin yapılması önerilmektedir. Ortam gürültüsüne yönelik üst ve alt tabaka için 63 Hz ve 125 Hz bantlarındaki değerler sırasıyla 101 dB, 103 dB, 98 dB ve 101 dB’dir.

2. Diğer çalışma ise Haydarpaşa Limanı’nda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bir kayıt alıcı deniz tabanından 2 metre yukarıda kalacak şekilde konumlandırılmış ve 21 – 29 Ekim 2022 tarihlerinde kayıt almıştır. Ölçüm sıklığı ise her 10 dakikada 5 dakikalık kayıtlar şeklinde gerçekleşmiştir. İlk değerlendirmelere göre 63 Hz frekansında gürültü seviyesinin 125 Hz frekansına oranla genel olarak yüksek olduğu görülmüştür. Zamana bağlı değişim incelendiğinde ise 00 – 06 saatleri arasında gürültü miktarının azaldığı belirlenmiştir. Bu durumun ise İstanbul Şehir Hatlarının çalışma tarifi kaynağı olduğu düşünülmektedir. Keza Kadıköy kalkışlı/varışlı yolcu vapurları söz konusu saatler arasında sefer yapmamaktadır.

3. Son çalışma ise III. Ulusal Denizlerde İzleme ve Değerlendirme Sempozyumu (06-09 Aralık 2022, Antalya) esnasında gerçekleşmiştir. Ölçüm alınan yerin yakınında gerçekleşen kazık çakma işlemi kayıt altına alınmış ve böyle bir faaliyetin ortamdaki etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Aşağıdaki analizlerden soldaki (a) kazık çakma faaliyetine ara verildiği esnada güç/frekans dağılımını göstermektedir. Sağdaki analiz (b) ise faaliyet esnasında ortamdaki enerji girişinin ne kadar arttığını göstermiştir (Şekil 3.5).



(a)



(b)

Şekil 3.5. İskele inşası kazık çakma faaliyeti öncesi ve esnasındaki enerji/frekans analizi

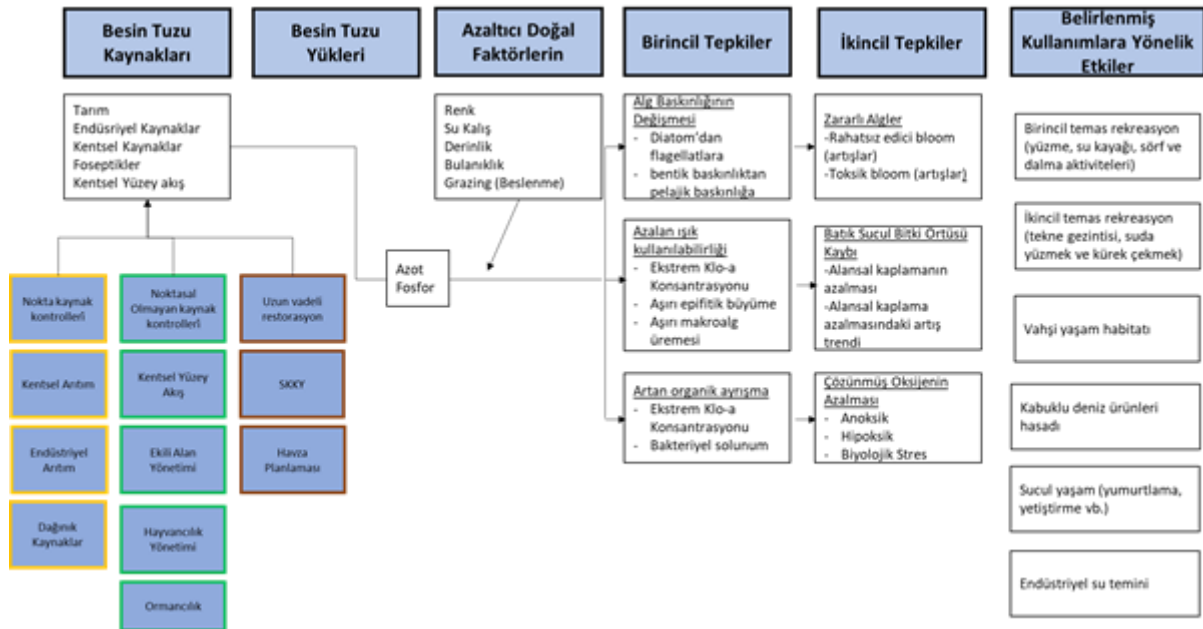
3.3 Ötrofikasyon

Ötrofikasyon, büyük miktarda enerji ve maddenin kara ve deniz arasında aktarıldığı etkileşim alanları olan kıyı bölgelerinde artar (Elliff ve Kikuchi, 2025). Kıyı bölgeleri aynı zamanda sağlama (örneğin gıda sağlama), destekleme (örneğin atık işleme) ve kültürel (örneğin rekreasyon ve turizm) ekosistem hizmetleri sağlar ve insan nüfusunun büyük bir kısmı tarafından iskan edilir (Neumann et. al., 2015). Her bir kıyı bölgesi, kıyı şehirleri ve endüstrilerinden gelen doğrudan besin maddesi yayılımlarına ek olarak, tüm havza alanından besin maddesi yüklerini alır. Kıyı bölgeleri ayrıca kirlilik, aşırı avlanma ve iklim değişikliği gibi diğer doğrudan ve dolaylı insan baskılarından da etkilenebilir (Malone ve Newton, 2020).

Su kaynaklarına ve su havzalarına giren besin tuzları potansiyel ekonomik

kayıplara ve kullanım etkilerine yol açabileceği yolları Tablo 3.2’de verilmiştir (Weaver, 2010). Söz konusu besin tuzlarının körfez ve kıyı sularına olan etkisi ticari ve eğlence amaçlı balıkçılık, turizm, su ürünleri yetiştiriciliği, yüzmeye, tür çeşitliliği, organizma durumu, ekosistem işlevi ve fidanlık alanları gibi alanlarda insan sağlığı ve su yaşamı üzerindeki etkilerle ilişkilendiren kavramsal bir diyagram sunulmuştur. Besin zenginleşmesi alg baskınlığı değişikliklerine, ışık geçirgenliğinin azalmasına ve organik ayrışmanın artmasına giden yolu göstermektedir. Bu birincil tepkiler daha sonra zararlı alglerin varlığı, batık sucul bitki örtüsünün kaybı ve düşük çözünmüş oksijen seviyelerini içeren ikincil tepkilerle sonuçlarını da göstermektedir (Weaver, 2010).

Tablo 3.2. Besin tuzları girdilerinin haliçlerde ve kıyı sularında su kalitesiyle ilişkili olarak etkileri



Ötrofikasyonun kıyı ekosistemlerine en çarpıcı olumsuz etkileri; su berraklığının azalması, birincil üretimdeki artış, su bitkilerinin tür dağılımında belirgin azalma, organizmalar arasındaki dengenin bozulması, dip sularda oksijen azalması (hipoksi), N/P/Si oranlarında değişim ve sonuçta besin ağında belirgin değişiklikler gibi birçok olumsuz etkinin kısa sürede gözlenmesidir (Conley ve diğ., 2007; Ferreria ve diğ., 2010).

Sucul ortamda ötrofikasyon değerlendirmeleri, baskı-durum-etki süreçlerinin sistematik izlenmesi ile yapılır. Baskılar, insan faaliyeti kaynaklı besin maddeleri ile organik maddenin karasal kaynaklardan nehirler, havzalar ve noktasal deşarjlar yolu ile denize taşınımı, atmosfer yolu (yağışlar) ile girdiler olarak değerlendirilir. Ötrofikasyon değerlendirilmesinde durum ve etki göstergeleri olarak DSÇD ve IMAP'ta belirtilenlerden deniz suyundaki besin maddesi derişimi artışı ve oranlarının değişimidir. İnsan kaynaklı besin iyonları girdilerinin doğrudan etkileri ise plankton biyo-kütle ve organik madde artışı, ışık geçirgenliğinin azalması, baskın plankton türlerin dağılımındaki değişimlerdir. Aşırı

organik madde üretimi sonucu alt tabakaya çökelen organik maddenin parçalanarak dip sularda oksijen eksikliği yaratır; taban flora ve faunasında belirgin ekolojik bozulmalar gözlenir. Bu durum, özellikle üst tabaka su kolonunda kalıcı tabakalaşmanın olduğu yarı kapalı körfez ve denizlerde (Marmara Denizi, Karadeniz gibi) ötrofikasyonun en belirgin dolaylı etkisi olarak tanımlanır.

Marmara Denizi'nde özellikle noktasal deşarjlar, havza yolu ile taşımınlar ve Karadeniz yüzey suyu girdilerine bağlı besin ve organik madde zenginleşmesi (kış karışimleri ile alt sulardan yüzey sularına taşımınları da ekleyince) ışıklı yüzey sularının ötrofikasyona maruz kalmasına neden olmuştur. Bu durum, özellikle su dolaşımının da sınırlı olduğu daha sığ körfez sularını daha fazla etkilemektedir. Bunun sonucunda, Marmara Denizi özellikle yaz-sonbahar dönemlerinde ötrofikasyonun etkisi ile neredeyse tamamen oksijensiz durumları (ara ve alt tabakalarda) sergilemektedir. Ayrıca yıl boyu bölgesel olarak plankton patlamalarına, denizin renklenmesi ve musilaj olaylarına rastlanabilmektedir.

Değerlendirmelerde kullanılan ötrofikasyon göstergeleri:

- Su kolonunda önemli/kilit besin elementlerinin (N, P, Si) konsantrasyonları (IMAP/EO5 & MSFD/D5C1*) ve oranlarındaki değişimler
- Su kolonunda klorofil-a konsantrasyonu (IMAP/EO5 & MSFD/D5C2*)
- Türlerde ve topluluklarda farklılaşmalar örn. değişen diatom-dinoflagellat oranı, bentik-pelajik oranı, insan aktivitelerinin neden olduğu zararlı/toksik alg patlamaları (MSFD/D5C3*)
- Askıda alg artışına bağlı su şeffaflığı (MSFD/D5C4*)
- Su kolonu dip alanındaki çözünmüş oksijenin varlığı (MSFD/D5C5*)
- Fırsatçı makroalglerin bolluğu/yaygınlığı ve makrofitlerin durumu (MSFD/D5C6*, D5C7*)

* Bkz. EU 2017/848 ve DÇS Projesi (ÇŞB) İÇD hedef ve göstergeleri

3.3.1 Besin Elementleri

Marmara Denizi 2014-2022 izleme çalışmalarında yüzey besin tuzlarında özellikle 2020 yılından itibaren göreceli düşük değerler tespit edilmiştir. Kıyı sularına yakın yerlerde kara kökenli kirleticilerin etkisiyle su kalış süresinin yüksek olduğu körfezlerde ve nehir önlerinde göreceli olarak daha yüksektir.

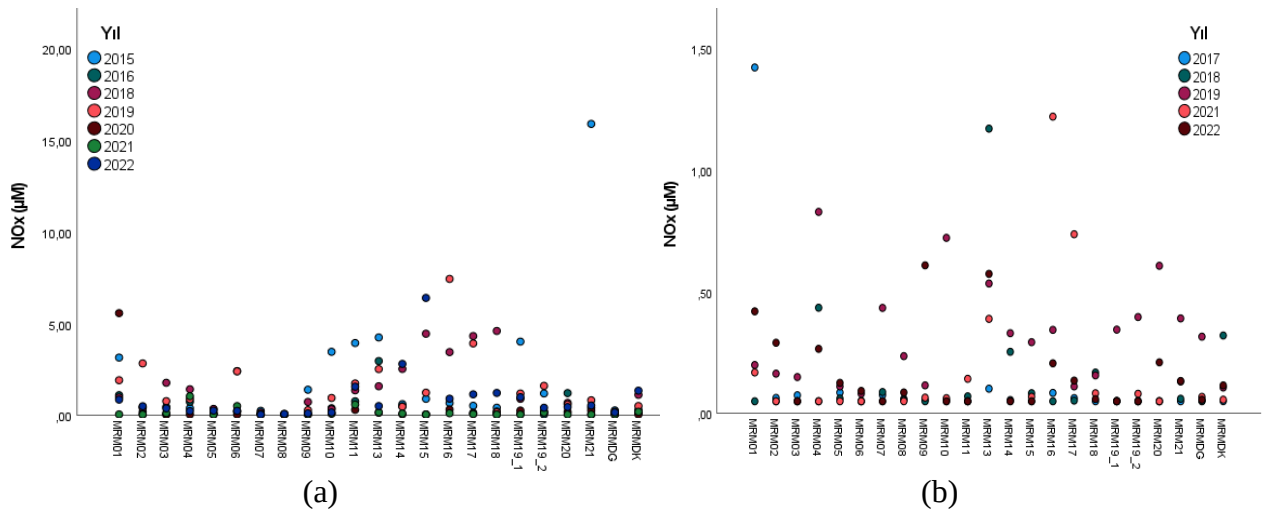
Tüm SYB’lerdeki (kıyı su yönetim birimleri) yüzey NO_x ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3\text{-N}$) konsantrasyonları, kış dönemi 0,05-15,90 μM , ilkbahar dönemi 0,05-1,42 μM ve yaz dönemi 0,05-3,97 μM aralığında (Şekil 3.6), SYB’ler dışında kalan DDB’lerde (açık deniz) kıyılara göre daha az salınım göstererek kış dönemi 0,05 – 1,35 μM , ilkbahar dönemi 0,05 – 0,32 μM ve yaz dönemi 0,05- 0,90 μM aralığında değişmiştir. Diğer besin tuzlarında da benzer değişim gözlenmiştir.

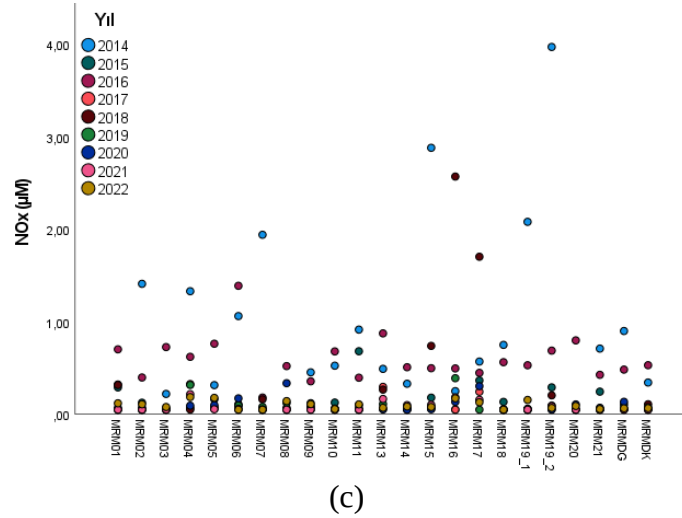
NO_x ve PO_4 değerleri kış döneminde tüm kıyı suları, Boğaz bölgesi ve körfezlerde yüksektir. İlkbahar döneminde birincil üretimdeki kullanımları, karışım özellikleri nedeni ile değerler azalmış yaz döneminde

ise özellikle azotlu ve fosforlu bileşikler en düşük seviyelere inmiştir. Marmara Denizi’nin bir iç deniz olması sebebiyle dış baskılardan diğer denizlerimize göre daha fazla etkilendiği bilinmektedir.

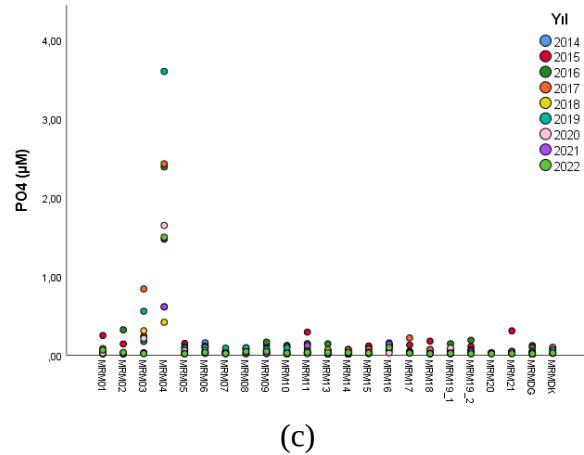
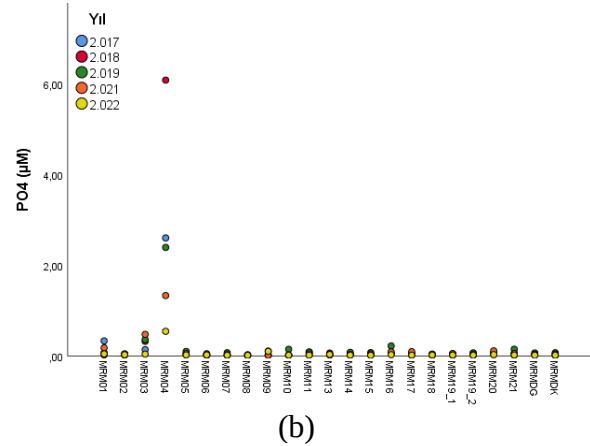
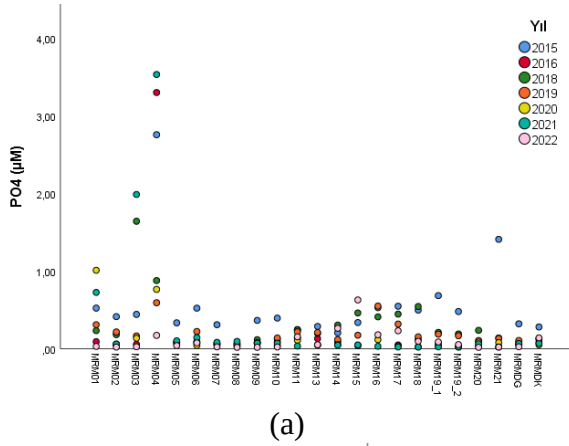
Genel olarak yüksek NO_x ve PO_4 konsantrasyonları nehirlerin etkisinde olan SYB’lerde (1-2-5-21), akışın göreceli olarak düşük olduğu iç körfezlerde (16-19) ve İstanbul İli etki alanında yer alan SYB’lerde (11-12-13) görülmüştür (Şekil 6, Şekil 7).

Son yıllarda iklim değişikliği gibi faktörlere bağlı olarak yağış rejimlerinde önemli değişiklikler olmuştur. Yağışsız geçen zaman aralığı artmış olup, yüksek şiddetli kısa dönemli yağış rejimleri olduğu görülmüştür. Yüzey silikat değerleri karasal girdilerin özellikle yağışlarla beraber değişkenlik gösteren bir parametredir. Söz konusu yüzey silikat değerlerindeki değişim yağış rejimindeki dalgalanmanın bir göstergesi olarak kullanılabilir.





Şekil 3.6. 2014-2022 örnekleme dönemlerinde NO_x SYB yüzey suyu ortalama konsantrasyonları (0-10 m) Kış (a), İlkbahar (b) ve Yaz (c)



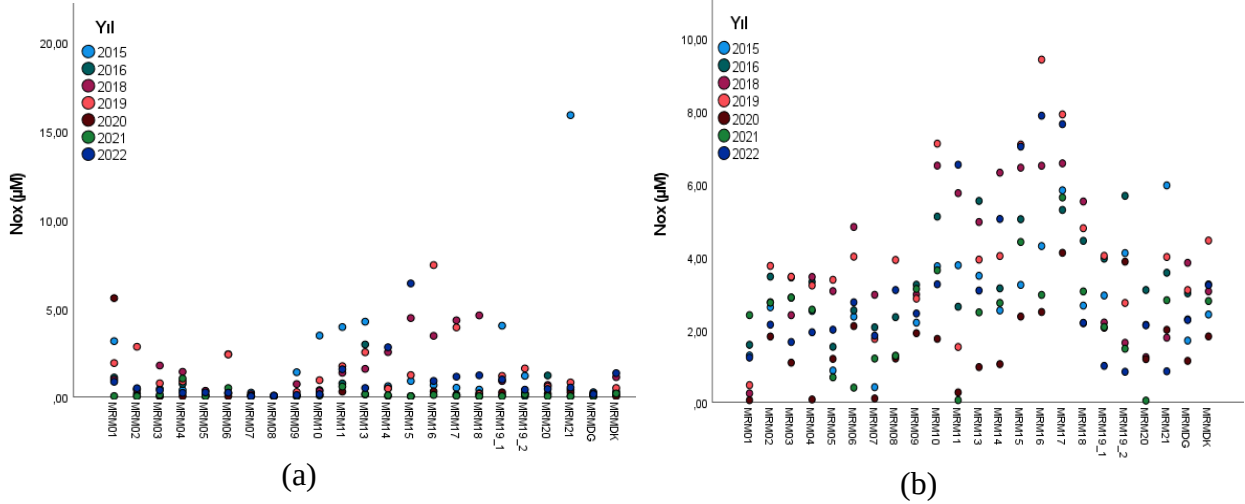
Şekil 3.7. 2014-2022 örnekleme dönemlerinde Ortofosfat (PO_4^{3-}) SYB yüzey suyu (0-10 m) ortalama konsantrasyonları Kış (a), İlkbahar (b) ve Yaz (c)

2021 ve 2022 yıllarında ise yüzey sularında (0 -10 m) besin tuzları konsantrasyonları düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, yüzey suundaki besin tuzlarının yoğun planktonik aktivite kaynaklı tüketildiğini işaret etmektedir.

Buna karşın ara su tabakası (15-30 m)'nda besin tuzlarının artışı dikkat çekicidir. Bu durum, yüzeydeki besin tuzlarının çökerek ara tabakada kalması ve 15 – 30 m su kolonuna yapılan derin deniz deşarjlarının etkisi kaynaklı olduğu söylenebilir. Şekil

3.8’de NO_x kış yüzey ve ara tabaka değerleri karşılaştırılmıştır. Yüzey tabakasında en yüksek konsantrasyon 15,9 µM ölçülse de genel olarak SYB’lerde yüzey sularında nitratlı bileşiklerin

konsantrasyonları düşüktür. Güney şelfinde düşük, kuzey şelfinin orta kısmına geldiğinde yüksek değerler ölçülmüştür. Ara tabakada ise genel olarak >2 µM nitratlı bileşikler ölçülmüştür.



Şekil 3.8. 2014-2022 yılları arası kış döneminde NO_x SYB yüzey suyu (a) ve ara tabaka (b) ortalama konsantrasyonları

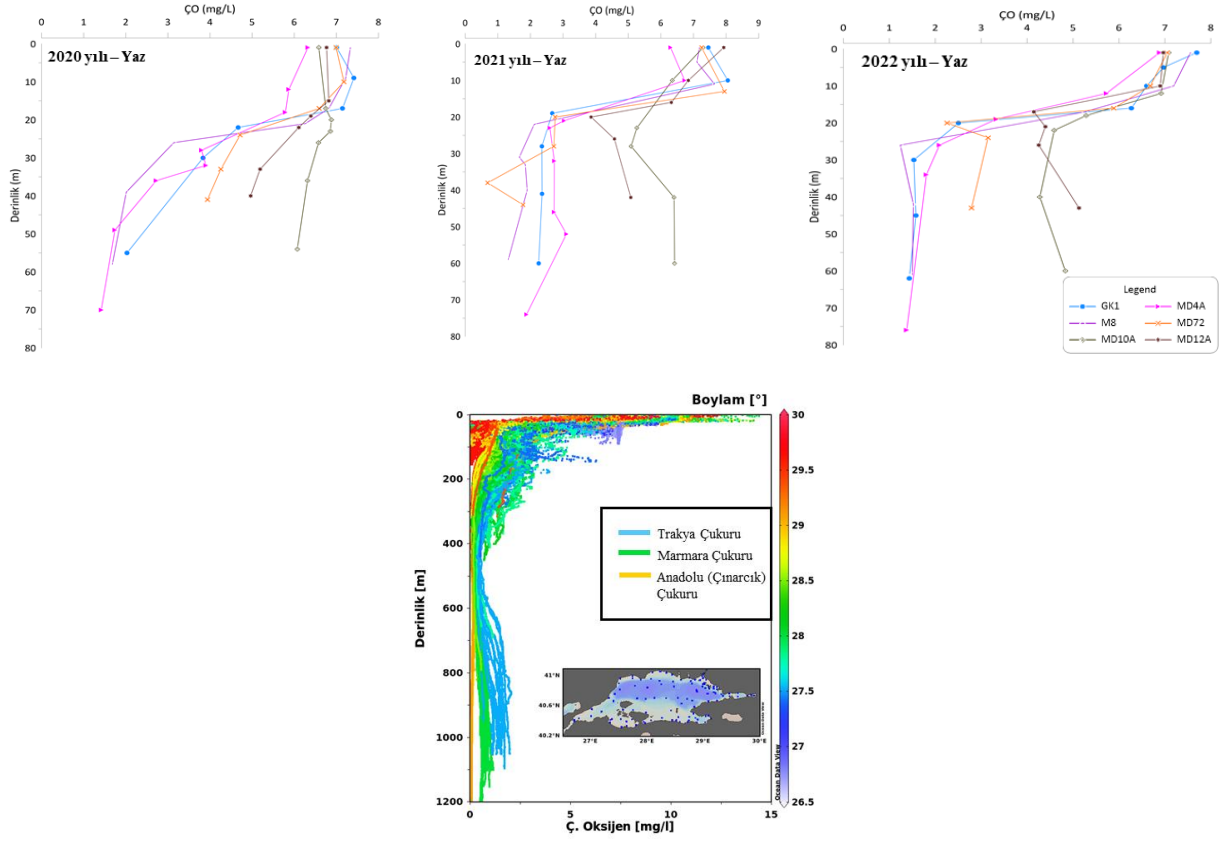
3.3.2 Çözünmüş oksijen

Marmara Denizi’nde sürekli var olan iki tabakalı yapıdan dolayı, oksijence doymun üst tabaka suları ara tabaka engeli nedeniyle alt tabakaya ulaşamamakta ve alt sularda düşük oksijen seviyelerinin görülmesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte, karasal girdilerin artışı ile yüzey sularında artan canlı ve cansız organik madde zamanla çökerek ara tabakada sıkışmakta ve heterotroflar tarafından ayrıştırıldığında ortamdaki oksijen tüketilip hipoksik koşulların oluşmasına sebep olmaktadır. Aynı şekilde alt tabakaya ulaşan partikül organik madde de burada parçalanarak oksijen tüketimine yol açmaktadır. Sonuç olarak, Marmara Denizi’nin ara tabakası ve alt tabakası oksijence fakir hale gelmekte ve hatta mevsimlere ve bölgeye bağlı olarak anoksik (oksijensiz) koşullar oluşmaktadır. Diğer yandan, Marmara Denizi’nin alt tabakası sürekli olarak Çanakkale Boğazı aracılığıyla oksijence doymun Akdeniz suyu ile beslenmektedir, bu özelliğinden

dolayı Marmara Denizi’nin belli bölgelerinin alt sularında hala canlı yaşamına yetecek kadar oksijen bulunmaktadır. Çözünmüş oksijenin Ege Denizi’nden Karadeniz’e doğru ne kadar değiştiği Şekil 3.9 ile gösterilmiştir.

Çanakkale Boğazı Marmara girişinde bulunan MD10A istasyonunun dip (40m altı) suyundaki çözünmüş oksijen miktarı 2020 – 2022 yılları yaz döneminde ≈4 mg/L seviyesinde iken, Marmara Denizi İstanbul Boğazı çıkışında bulunan M8 istasyonunda bu değer, yaklaşık 5-6 mg/L kayıpla, 1 mg/L seviyesine gerilemiştir. Ayrıca, ara tabakaya gelirken oksijenin büyük kısmının tüketildiği ve bu tabakanın yukarılara doğru çekildiği tespit edilmiştir.

Üç çukurdaki dip oksijen değerleri değerlendirildiğinde Trakya çukurunda oksijen açısından > 2 mg/L ancak Marmara ve Çınarcık çukuruna doğru gidildikçe oksijenin düştüğü ve kritik seviye olan < 2 mg/L altına indiği belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Çözünmüş oksijenin 2014-2022 döneminde Çanakkale Boğazı-Marmara kesişimi ile Marmara-İstanbul Boğazı kesişim bölgelerindeki düşey değişimleri

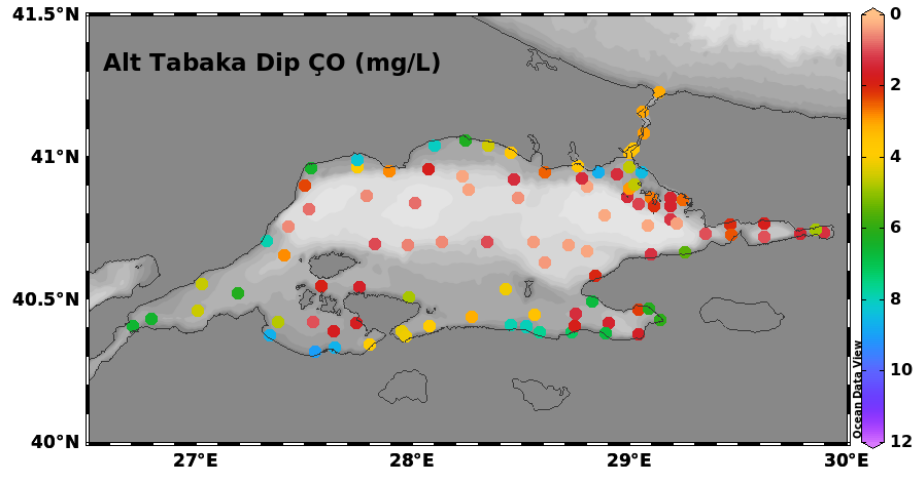
Derin/dip su ÇO değerlendirmesi:

Şekil 3.10'da 2022 yılı kış, ilkbahar ve yaz dönemlerine ait dip sudaki oksijen seviyesi dağılım haritaları verilmiştir. Oksijen seviyesinin, $<2,0$ mg/L'nin altına düşmesi (suboksik koşullar) ekosistem kalitesi açısından oldukça olumsuz bir durumdur. Marmara Denizi derin çukurları ile doğu ve kuzey bölgelerinin neredeyse tümü bu eşiğin altındadır. Derin çukurlara benzer olarak Körfez içlerindeki oksijen seviyeleri düşüktür. Marmara Denizi kuzey şelfinde yer alan, İstanbul adalar bölgesi istasyonlarının hepsinde düşük oksijen seviyeleri tespit edilmiştir (Şekil 3.10). Bu bölgeler deniz dibi canlı habitatları açısından hassas/kırılgan bölgelerdir ve fiziksel olarak da organik madde yükü ile tahrip olmuştur. Sığlık bölgeler ile Akdeniz suyu etkisinde olan alanlarda dip sularda bu değerler >2 ve >4 mg/L üzerinde bulunabilmektedir.

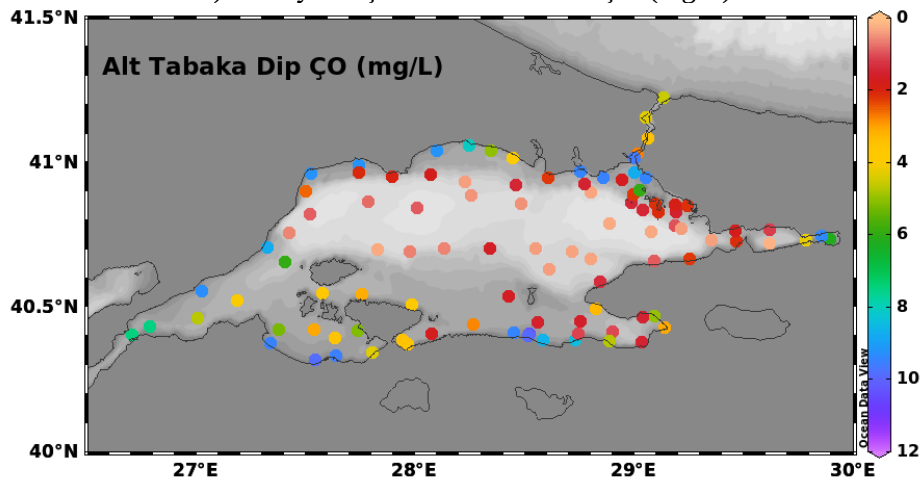
Marmara Denizi doğu derin bölgesini (Çınarcık Çukuru) temsilen seçilen 45C

istasyonunun farklı alt su katmanlarındaki çözünmüş oksijen seviyesinin 90'lı yıllardan günümüze yıllara göre değişimi Şekil 3.11'de görülmektedir (Kaynak: MARMOD Faz I veri tabanı ve DEN-İZ sonuçları). Buna göre >1000 m derinlikte değerler 2 mg/L seviyelerinden <0.5 mg/L seviyelerine gerilemiştir.

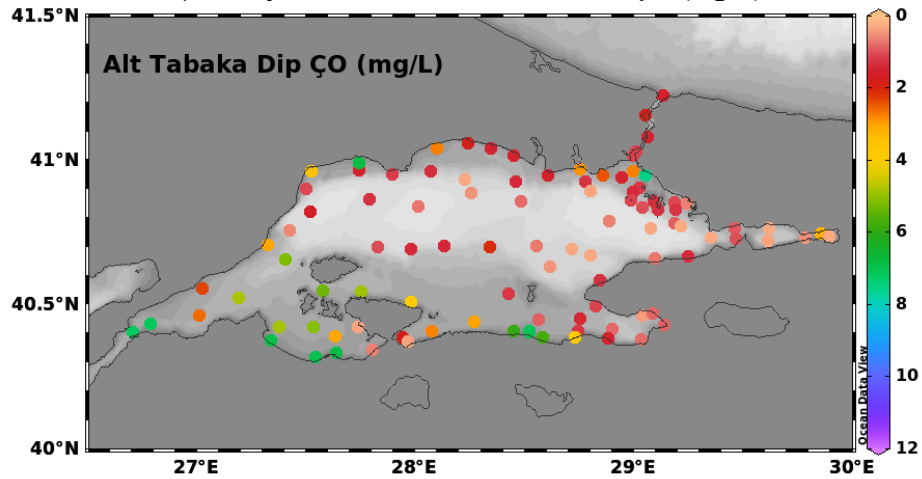
Marmara Denizi ara ve alt tabaka sularının oksijen açısından bugün geldiği durum değerlendirildiğinde ve DEN-İZ sonuçları dikkate alındığında, Marmara Denizi genelinde oksijenin canlı varlığını tehdit edecek şekilde azalmış olduğu tespit edilmiştir. Ekosistem sağlığı açısından ara ve dip sularda çözünmüş oksijen seviyelerinin 4-5 mg/L seviyelerinde olduğu bilinir. Oksijenin alt sularda giderek azalması (derin dip sularda ve körfez içleri alt/dip sularda) canlı hayatın son bulması ve hidrojen sülfür oluşumu ve kalıcılığı tehdidini giderek artırmaktadır.



a) 2022 yılı kış dönemi alt tabaka ÇO (mg/L)

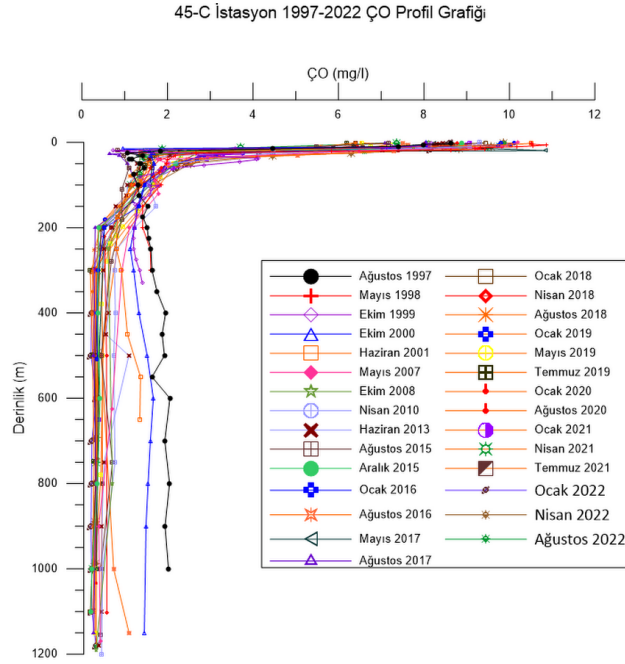


b) 2022 yılı ilkbahar dönemi alt tabaka ÇO (mg/L)



c) 2022 yılı yaz dönemi alt tabaka ÇO (mg/L)

Şekil 3.10. Marmara Denizi dip sularında 2022 yılı çözülmüş oksijen dağılımı



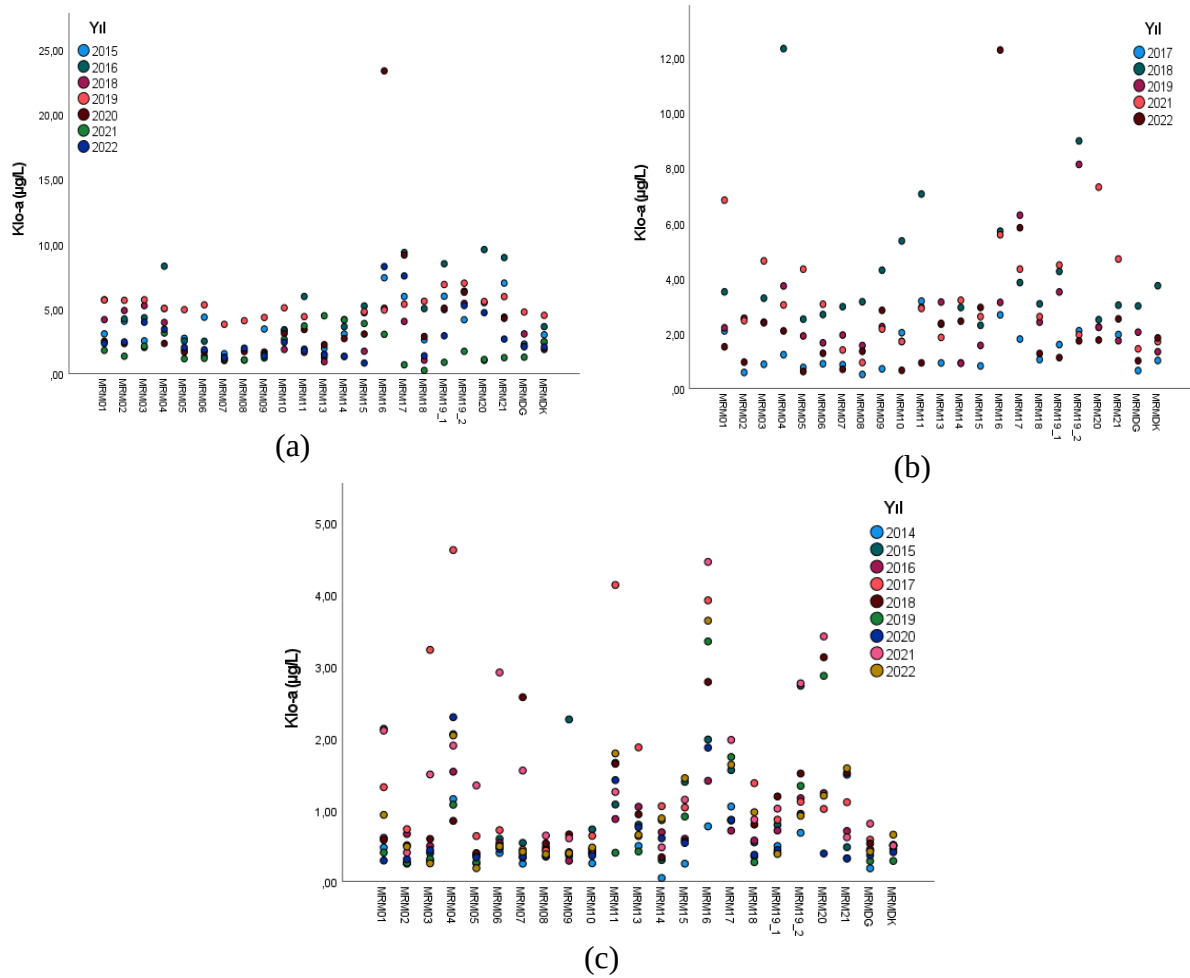
Şekil 3.11. Çözülmüş Oksijenin Doğu derin Marmara çukurundaki tarihsel değişimi (a), Doğu Marmara çukuru alt sularındaki Çözülmüş Oksijen Değişimi (b)

3.3.3 Klorofil-a

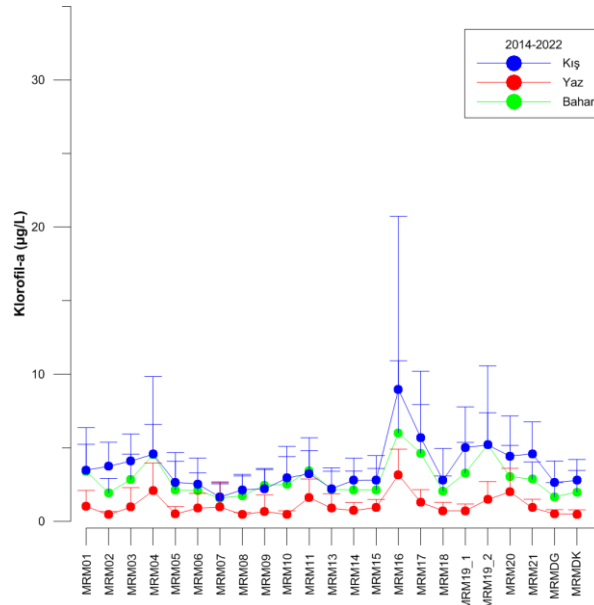
Fitoplankton biyokütlesi göstergesi olan klorofil-a konsantrasyonları, 2014-2022 yılları arasında, SYB’lerde kış döneminde $0,26-23,31 \mu\text{gL}^{-1}$, ilkbahar döneminde $0,51 - 12,31 \mu\text{gL}^{-1}$ ve yaz döneminde $0,05 - 4,62 \mu\text{gL}^{-1}$ aralığında, açık deniz sularında ise $0,18-4,75 \mu\text{gL}^{-1}$ aralığında tespit edilmiştir (Şekil 3.12). Klorofil-a seviyeleri hem besin maddesinin artış/azalış hem de ışık durumunun uygunluğuna göre değişir. Kış karışmaları nedeni ile yüzey sularındaki besin maddesi artışı klorofil-a seviyelerinin de yükselmesine neden olmuştur. İlkbahar sezonunda da yüksek değerlere rastlanmış ancak kış döneminde –örneklenen dönemler içinde- en yüksek değerlere ulaşılmış olup bu durum fitoplankton bolluk değerlerinde de benzer şekilde seyretmiştir (Bkz. Bölüm 3.3.1). Diğer yandan, en yüksek konsantrasyonlar genellikle su dolaşımının yavaş olduğu körfezlerde görülmüştür. Yaz döneminde ise daha düşük değerlere rastlanmış ancak baskıların yoğun olduğu bölgelerde yüksek seviyelere ulaşılmıştır.

SYB’lerin çoğunda kış ve ilkbahar dönemlerinin (fitoplankton için büyüme dönemleri) daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. MRM04 (Bandırma) ve MRM16/MRM17/MRM19 (İzmit ve Gemlik Körfezleri) ortalamaları kış ve ilkbahar dönemlerinde en yüksek değerleri göstermiştir. Ayrıca, Susurluk bölgesindeki SYB ‘lerin (MRM01, 02, 03, MRM20 ve 21) özellikle kış dönemlerinde yüksek değerler sergilemektedir ki bu da yağışlar nedeni ile nehir girdileri ile besin maddesi taşınımındaki artışlara bağlanabilir. Bunların dışında MRM10 ve 11 (Silivri- B.Çekmece-K.Çekmece) ilkbahar dönemlerinde yüksek değerlere ulaşmıştır.

Besin tuzlarına benzer olarak güney şelfinde düşük klorofil-a konsantrasyonları kuzey şelfinin ortasından itibaren yükselme eğilimine girmektedir. Körfezlerde ise en yüksek değerler tespit edilmiştir.



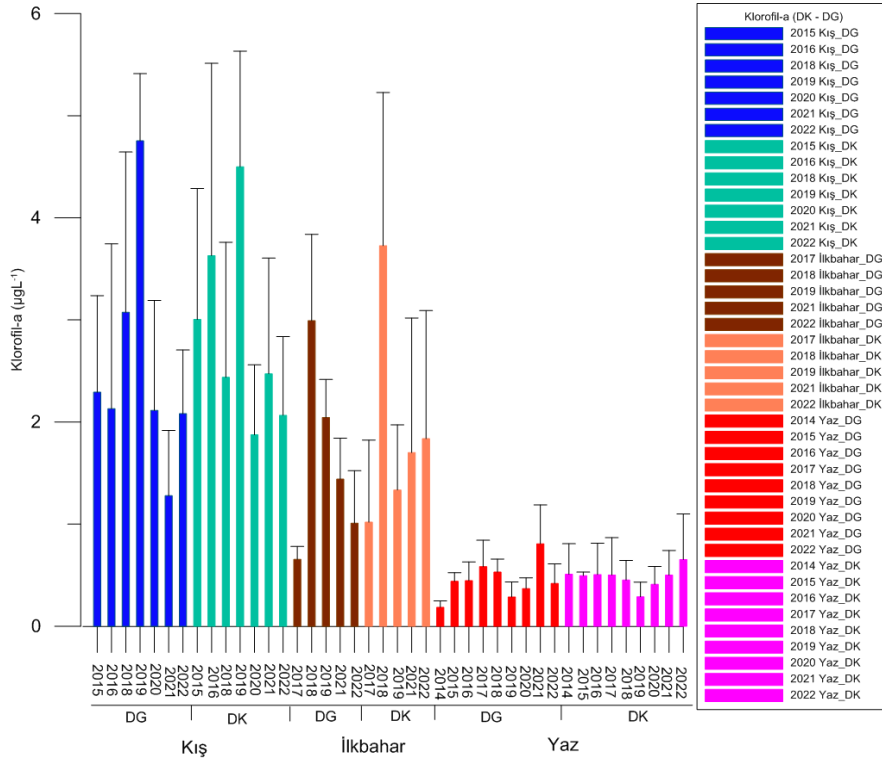
Şekil 3.12. 2014-2022 örnekleme dönemlerinde SYB ve Marmara Denizi kuzey (MRMDK) ve güney (MRMDG) açık sularında saptanan klorofil-a yüzey suyu ortalama konsantrasyonları



Şekil 3.13. Marmara Denizi kıyı su kütlelerinde 2014-2022 döneminde ölçülen (0-10 m) kış: mavi (2015, 2016, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022), ilkbahar: yeşil (2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022) ve yaz: kırmızı (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022) dönemi ortalamaları ve std.sapmaları

Marmara Denizi kuzey ve güney DDB’lerinin 2014-2022 yılları arası yüzey tabaka (0-10m ortalama) klorofil-a konsantrasyonlarının karşılaştırılması Şekil 3.14’ de verilmiştir. Bu gösterimde aynı zamanda her mevsim ve bölgede yıllar arasındaki farklılıklar da rahatlıkla izlenebilmektedir. Kış dönemlerinin, ilkbahar izleme dönemlerine (örnekleme yapılan döneme) göre daha yüksek

değerler sergilediği anlaşılmaktadır. Özellikle 2019 kış dönemindeki artış belirgindir. Yaz döneminde ise 2014’ten 2022’e kadar ortalama değerler birbirine yakın olup 2019 yaz döneminde görece daha düşük değerler izlenmiştir. Daha uzun dönemli veri ile farklı mevsimler ve tüm veri üzerinde ayrı ayrı yönelim analizlerinin yapılması mümkün olacaktır.

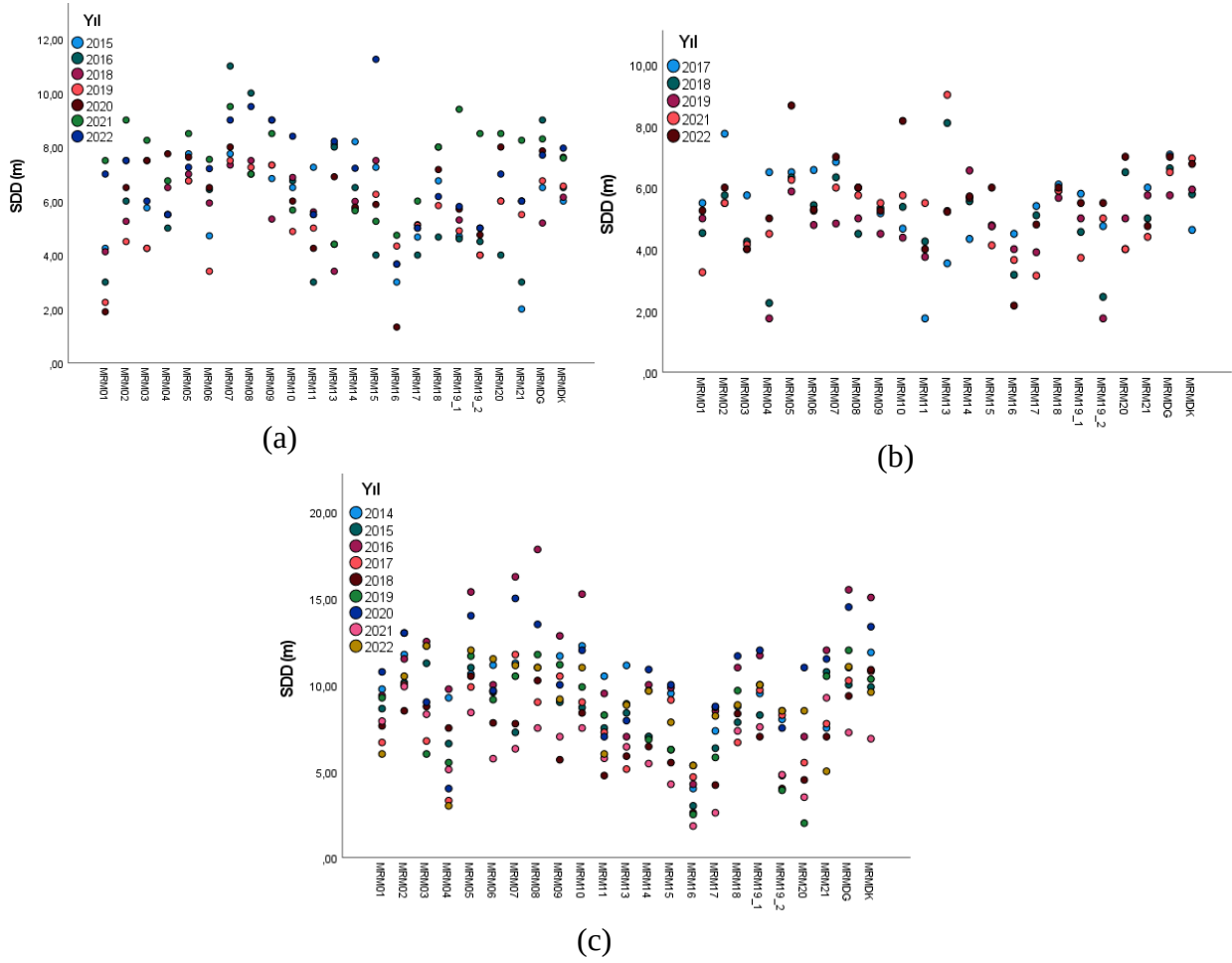


Şekil 3.14. Marmara Denizi kuzey ve güney deniz değerlendirme aalanları 2014-2022 dönemi yüzey tabaka (0-10m ortalama) klorofil-a konsantrasyon karşılaştırılması (DK:Marmara Denizinin Kuzeyi açık istasyonlar, DG: Marmara Denizinin Güneyi açık istasyonlar)

3.3.4 Işık Geçirgenliği (Seki Disk Derinliği)

Seki disk derinliği 2014-2022 çalışmasında SYB’lerde 1,33-17,83 m arası, açık denizlerde ise 4,6-15,0 m arasında değişmiştir (Şekil 3.15). Seki disk derinlikleri yaz dönemlerinde kışa göre daha yüksek ölçülmüş olup bunda klorofil-a konsantrasyonlarının düşük olması da etkili olmuştur. 2020 yılında pandemi

etkisiyle ve 2022 yılında yüzey besin tuzlarının tüketilmiş olması sebebiyle seki diskler yüksek değerler kaydedilmiştir. İzmit İç Köfezi’nde kış, ilkbahar ve yaz döneminde olmak üzere diğer SYB’lere göre çok düşük değerler kaydedilmiştir. SDD’lerin düşük olduğu yerler nehir ağızları ve körfezlerde görülmüştür.



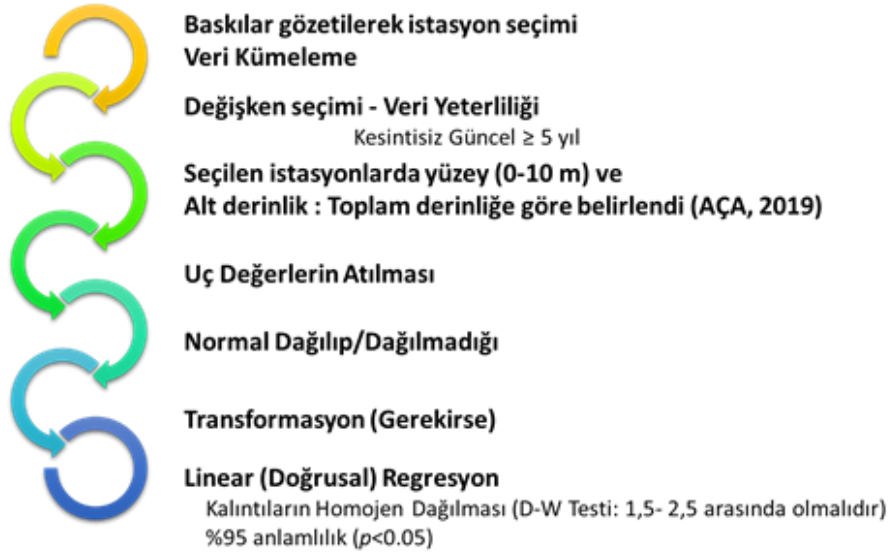
Şekil 3.15. 2014-2022 örnekleme dönemlerindeki Seki disk derinliği SYB ortalama değerleri

3.3.5 Marmara Denizi Ötrofikasyon Parametrelerinin Yönelim Analizi

Yönelim analizleri ve veri kümelenmesi HELCOM ve OSPAR (HELCOM, 2014; OSPAR, 2013) kılavuzları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Yönelim çalışmalarında veri kümelemesi, baskıların göz önünde bulundurulması ve kesintisiz güncel veri olması analizin güvenilirliği açısından önemlidir. Yönelim analizinde parametlerin artış/azalışları eğilimleri belirlenmektedir. Bu eğilimleri sağlıklı yapılabilmesi uzun dönemli verilerin incelenmesiyle sağlanmaktadır. Seçilen istasyonlarda verilerin sürekliliği önem arz etmektedir.

Bu kapsamda, Marmara Denizi su yönetim birimlerinde 2014-2022 arası ölçülen ötrofikasyon parametrelerinde (orto-fosfat; PO₄, Nitrit+Nitrat azotu; NO_x, Silikat; Si Klorofil-a ve dip çözünmüş oksijen) tüm veri (tüm mevsimler birlikte), kış, ilkbahar dönemleri ve yaz dönemleri olmak üzere 4 kategoride gerçekleştirilmiştir. Yönelim analizinde izlenen yöntem Şekil 3.16'da özetlenmiştir.



Şekil 3.16. Yönelim analiz yöntemi

Çalışma sonucunda;

Marmara Denizi'nde yaşanan müsilajın oluşumunda besin tuzlarında ani değişikliklerin olması başlıca sebeplerinden bir tanesidir. Özellikle hassas körfez ekosistemlerinde bu etki daha yaygın ve net olarak izlenmiştir.

Marmara Denizi'nin üst suda hızlı bir tüketim, ara tabakaya sıkışan besin tuzlarının (N ve P yükü artışı) yanı sıra dibe çökelişin kısıtlı ve yavaş olduğu şeklinde karakterize edilebilir.

Kuzey Batı Marmara'da kalan Tekirdağ, Şarköy ve Çanakkale girişi olan bölgede bir değişim görülmemiştir. Buna karşın, İzmit, Bandırma ve Gemlik Körfezi'nde bazı parametrelerin azalma eğiliminde olduğu söylenebilir. Marmara Denizi SYB'lerinin %65'inde yönelim tespit edilirken, %35'inde yönelim tespit edilememiştir.

İzmit iç körfezi'nin yüzey sularında, özellikle kış döneminden kaynaklı istatistiki olarak anlamlı ($p < 0.05$) $PO_4\text{-P}$ azalışı görülmektedir (Tablo 3.3). Ancak, $PO_4\text{-P}$ gözlenen azalış trendi diğer değişkenlerde tespit edilememiştir. Bu bölgede Marmara Denizi'nin en yüksek klorofil-a değerleri tespit edilmektedir.

Uzun dönemli olarak Kocaeli Büyükşehir Belediyesi verileri 2007 – 2019 yılları

arasında incelenmiş olup, İzmit orta ve dış körfezde özellikle kış döneminde klorofil açısından artış trendi gözlenmiştir. Aynı dönemde, yüzey sularında söz edilen NO_x artışı belirgindir. Aynı veri setleri alt sular açısından incelendiğinde körfez boyunca Si artışı mevcuttur. PO_4 ve NO_x ise sadece iç körfezin derin sularında artmaktadır. Körfezin diğer bölgelerinde ise alt sulara P ve N açısından zenginleşme izlenmemektedir. ÇO alt sulara azalma veya artma yöneliminde değildir. Seki disk derinliği ise körfez boyunca, özellikle de orta ve dış körfezde artış eğilimindedir.

Gemlik iç Körfezi'nde de $PO_4\text{-P}$ gözlenen azalış trendi tespit edilmiştir. Söz konusu azalış trendi çok düşük olmakla beraber diğer değişkenlerde azalma yöneliminde değildir. Dış körfez ve Mudanya açıklarında kalan bölgede ise NO_x ve klorofil değerlerinde azalan bir yönelim olurken, görünürlüğün arttığı gözlemlenmiştir.

Bandırma Körfezi NO_x ve $PO_4\text{-P}$ açısından sırasıyla $0,064 \mu\text{M}$ ve $0,0293 \mu\text{M}$ azalış yönelimindedir. Ancak, Bandırma Körfezi fosfat kirliliği açısından Marmara Denizi'nin en kirli bölgesidir. Yüzey klorofil değişkenliği sebebiyle üç dönemde de yönelim MRM19_1 ve MRM21 SYB'leri hariç tespit edilememiştir. Seki Disk

Derinliği açısından Kuzey şelfte ve Gemlik Dış Körfezi'nde artış yönelimi tespit edilmiş olup, standart sapması dolayısıyla

değişkenliği yüksektir. Sonuç olarak sistemdeki azot ve fosfor yükü hala çok yüksektir.

Tablo 3.3. Besin elementleri (NO_x, PO₄) ve klorofil-a'nın zamana bağlı uzun dönemli (2014-2022) değişimlerinin analizi (DEN-İZ Programı veri seti)

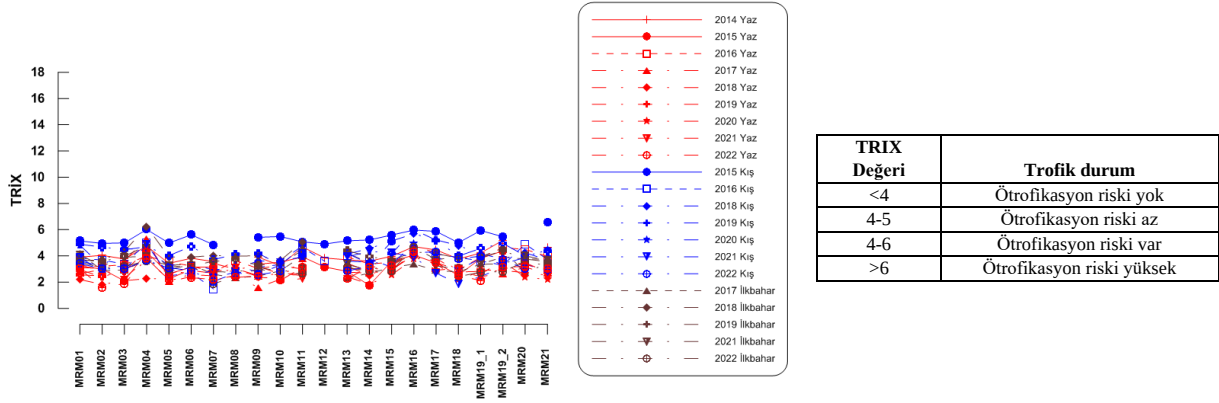
Bölge	Değişken	Dönem	Korelasyon (R ²)	Anlamlılık (p) ³	Trend ⁵	Değişim
MRM02	PO4-P	Tüm Veri	0,64	0,014	↓	Yılda 0,047 µM azalma
MRM04	PO4-P	Tüm Veri	0,7	0,01	↓	Yılda 0,0293 µM azalma
MRM05	PO4-P	Yaz	0,82	0,005	↓	Yılda 0,015 µM azalma
MRM10	PO4-P	Tüm Veri	0,51	0,045	↓	Yılda 0,024 µM azalma
MRM11	PO4-P	Kış	0,86	0,008	↓	Yılda 0,068 µM azalma
MRM11	PO4-P	Tüm Veri	0,68	0,011	↓	Yılda 0,048 µM azalma
MRM11	PO4-P	Yaz	0,66	0,047	↓	Yılda 0,038 µM azalma
MRM16	PO4-P	Kış	0,58	0,077	↓	Yılda 0,068 µM azalma
MRM19_2	PO4-P	Tüm Veri	0,71	0,016	↓	Yılda 0,015 µM azalma
MRM04	NO _x	Yaz	0,66	0,048	↓	Yılda 0,064 µM azalma
MRM07	NO _x	Tüm Veri	0,58	0,028	↓	Yılda 0,027 µM azalma
MRM20	NO _x	Kış	0,7	0,037	↓	Yılda 0,160 µM azalma
MRM19_1	Klo-a	Kış	0,6	0,041	↓	Yılda 0,768 µg/L azalma
MRM21	Klo-a	Kış	0,74	0,013	↓	Yılda 0,875 µg/L azalma
MRM14	SDD	Bahar	0,89	0,015	↑	Yılda 0,307 m artmakta
MRM20	SDD	Kış	0,71	0,034	↑	Yılda 0,636m artmakta
MRM21	SDD	Kış	0,75	0,011	↑	Yılda 0,710 m artmakta
MRMDK	SDD	Kış	0,79	0,07	↑	Yılda 0,288m artmakta

3.3.6 TRIX

Trofik durum göstergesi (besin tuzları, klorofil ve oksijen doygunluk yüzdesi) parametrelerinden hesaplanan TRIX indeksi (Vollenwider vd., 1998) değerlendirmeleri her yıl kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerini içerecek şekilde yapılmaktadır.

Marmara Denizi 2022 yaz döneminde TRIX değerleri genellikle <4 (Ötrofikasyon riski yok) hesaplanmıştır. İlkbahar döneminde Bandırma, Gemlik, İzmit Körfezleri ile kuzey, doğu Marmara'da TRIX 4-5 (ötrofikasyon riski mevcut) olarak hesaplanmıştır. Kış döneminde ise, özellikle İzmit Körfezi ve İstanbul kıyılarında ötrofikasyon riski yüksek TRIX 4-6 değerlerine rastlanmıştır. Kış döneminde ise değerler daha yaygın olarak 4-6 arasında yüksek riskli olarak tespit edilmiş ve İzmit Körfezi'nde >6 değerleri izlenmiştir. Bu dönemde kış karışımlarının etkisi ile yüzey suyunda daha yüksek besin maddesi bulunması aynı

zamanda da klorofil artışına neden olmuştur bu durum kısmen TRIX değerlerini arttırmıştır. Şekil 3.17'de görüldüğü üzere Marmara Denizi'nde kış mevsiminde hemen hemen tüm SYB'lerde ötrofikasyon riski yüksek olarak değerlendirilirken, yaz mevsiminde ise birçok SYB'de TRIX değerinin <4 olduğu (ötrofikasyon riski yok) gözlenmiştir. Bu çalışmada, indeksin orjinal hali kullanılmış olup Marmara Denizi için sınır değerleri belirlenmemiştir. Bu nedenle, sonuçlar göreceli bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Yaz döneminde göreceli olarak düşük saptanan değerler, besin maddesi ve klorofil konsantrasyonlarındaki kış ve ilkbahara göre düşük ölçülen değerler ile ilişkilidir. Ayrıca, besin tuzlarının yüzey sularında hızlı tüketilmesi ve ara tabakaya çökmesi de TRIX değerlerinin göreceli düşük çıkmasına sebep olmaktadır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. 2014-2022 örnekleme dönemlerindeki yüzey suyu TRIX değerlerinin SYB ve DDB kış (mavi) ve yaz (kırmızı) ortalama değerleri

3.3.7 Marmara Denizi'nde Uydu Verileri ve Modelleme Yaklaşımı ile Su Kalitesi Değerlendirmesi

Günümüzde su kalitesinin belirlenmesi ve izlenmesine yönelik çeşitli kamu kurumları, sivil toplum kuruluşları ve araştırma grupları sınırlı kaynaklarla saha tabanlı çalışmalar yürütmektedir. Ancak, konvansiyonel örnekleme yöntemlerinin mekânsal ve zamansal sınırlamaları (örneğin, kirlenici parametrelerin ne zaman ve nerede meydana geldiğinin bilinmemesi) nedeniyle, su kütlesindeki değişimlerin doğru şekilde izlenmesi zordur. Bu sınırlamaları aşabilme potansiyeline sahip olan uzaktan algılama teknolojisi ve uydu verileri, saha bazlı ölçümlerle birleştirildiğinde, su kalitesi parametrelerinin izlenmesi, değerlendirilmesi ve tahmin edilmesi konusunda güçlü ve etkin bir araç sunmaktadır. Bu sayede, su kullanımını etkileyen değişiklikler zamanında izlenebilir, bu da karar verici mekanizmaların önleyici tedbirler almasını sağlayarak, ekolojik ve insan sağlığına yönelik potansiyel tehditlerin azaltılmasına olanak verir.

Bu bağlamda, DEN-İZ Programı, 2019-2022 dönemi itibarıyla Marmara Denizi'nde (İzmit Körfezi ve Gemlik Körfezi gibi pilot bölgelerde) iç kıyı su alanlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ekolojik durumu izlemek ve değerlendirmek amacıyla uydu

teknolojilerinden yararlanılmıştır. Bu izleme, belirli dönemlerde yapılan saha ölçümleri ve uydu verilerinin entegrasyonu ile rutin olarak gerçekleştirilmiştir.

Son yıllarda, ücretsiz erişime sunulan Sentinel-2 ve Landsat 8 gibi orta mekansal çözünürlüklü uydu verilerinin (10-30 m çözünürlük) iç ve kıyı sularının izlenmesindeki kullanımı artmıştır. Bu, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde bu alandaki çalışmaların sayısının artmasına ve farkındalığın yayılmasına yol açmıştır. DEN-İZ Programı kapsamında, özellikle Landsat uydusuna göre daha yüksek mekansal ve spektral çözünürlüğe sahip Sentinel-2 uydu görüntüleri, kirlilik izleme ve modelleme analizlerinde kullanılmıştır. Bu uydu verilerinin yersel ölçmelerle ilişkilendirilmeden önce belirli ön işleme adımlarından (kara alanlarının maskelenmesi, geometrik ve radyometrik düzeltmeler, güneş parıltısı (sun glint) etkisinin giderilmesi, atmosferik düzeltme vb.) geçirilmesi gerekmektedir. Bu düzeltmeler, su kalitesi parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi ve atmosferdeki moleküller, aerosoller ile su yüzeyindeki yansılardan kaynaklanan gürültülerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olmaktadır. Program kapsamında, literatürde yaygın olarak kullanılan farklı atmosferik düzeltme yöntemleri

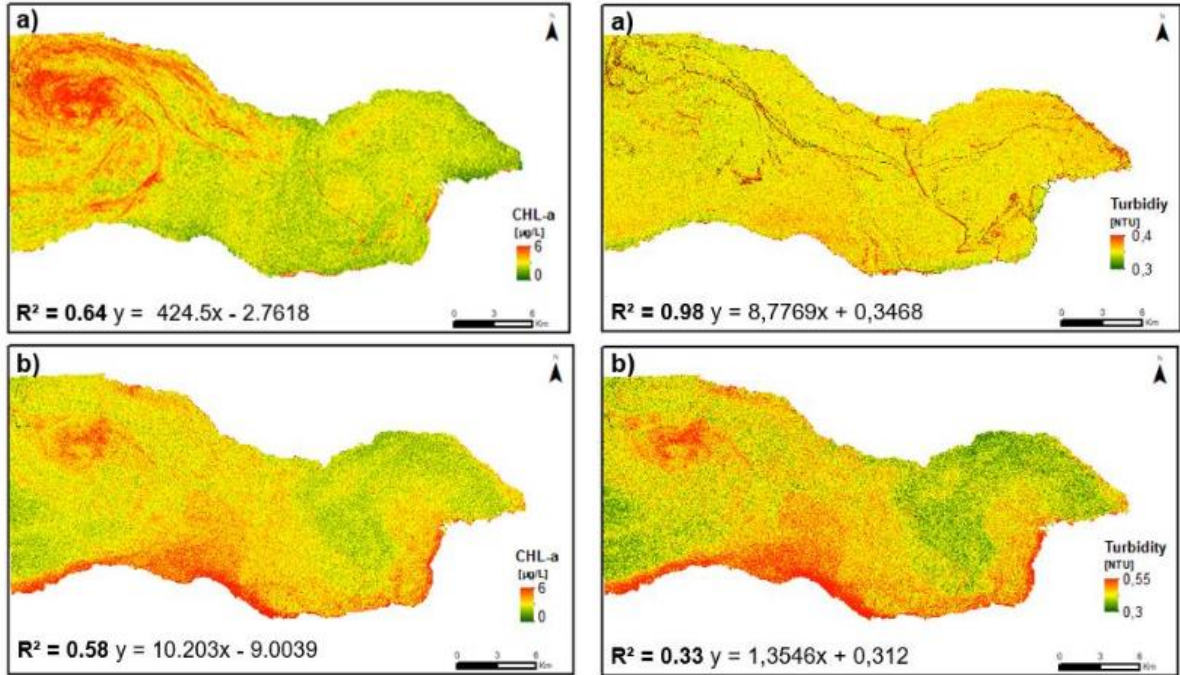
karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılmış ve en uygun düzeltme yöntemi belirlenmiştir.

Bir diğer olumsuz etken olan güneş parıltısı, uydu görüntülerinde su yüzeylerinde ışığın aynasal yansımından kaynaklanmaktadır ve su kalite bileşenlerinin uzaktan algılanmasında ve görüntü analizinde yanıltıcı ve sınırlayıcı bir faktör olabilmektedir. Bu kapsamda, programda Gemlik Körfezi'nde iki gün arayla alınan ve atmosferik düzeltmesi yapılmış iki Sentinel-2 görüntüsünden birinde mevcut olan güneş parıltısının, eş-zamanlı yersel klorofil-a ölçümleri ve model sonuçları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular, güneş parıltısının uydu algılayıcısının radyometrik ölçümlerini etkileyerek görüntüden suyun optik aktif özelliklerinin çıkarılmasını ve klorofil-a parametresinin doğru tahmin edilmesini (tahmin doğruluğunda $\pm$ %40-60 azalma) olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur.

Uydu verileri ile yersel ölçmeler arasındaki matematiksel ilişkiyi ortaya koymak amacıyla farklı modelleme yöntemleri (konvansiyonel veya makine öğrenmesi tabanlı regresyon) kullanılmaktadır. İzmit Körfezi'nde yapılan çalışmalar kapsamında, bu tür modeller test edilerek doğruluk değerlendirmeleri yapılmıştır. Elde edilen doğruluk değerlendirmeleri sonucunda, en uygun regresyon modelinin matematiksel ilişkisini gösteren eşitlik tüm uydu görüntüsüne uygulanmış ve ilgili su kalite parametresinin mekânsal dağılımı tematik harita olarak elde edilmiştir.

Aşağıda bu çalışmaların sonuçları kısaca özetlenmiştir;

Gemlik Körfezi'nde gerçekleştirilen farklı model çalışmaları kapsamında (a) yalnızca 5 müsilaaj noktasında ve (b) 16 yersel ölçüm noktasında elde edilen Chl-a ve bulanıklık dağılım haritalarında, yüksek konsantrasyonların ağırlıklı olarak körfezin alt kıyı kesimlerinde ve müsilaajın yoğun olduğu bölgelerde bulunduğu saptanmıştır (Şekil 3.18).

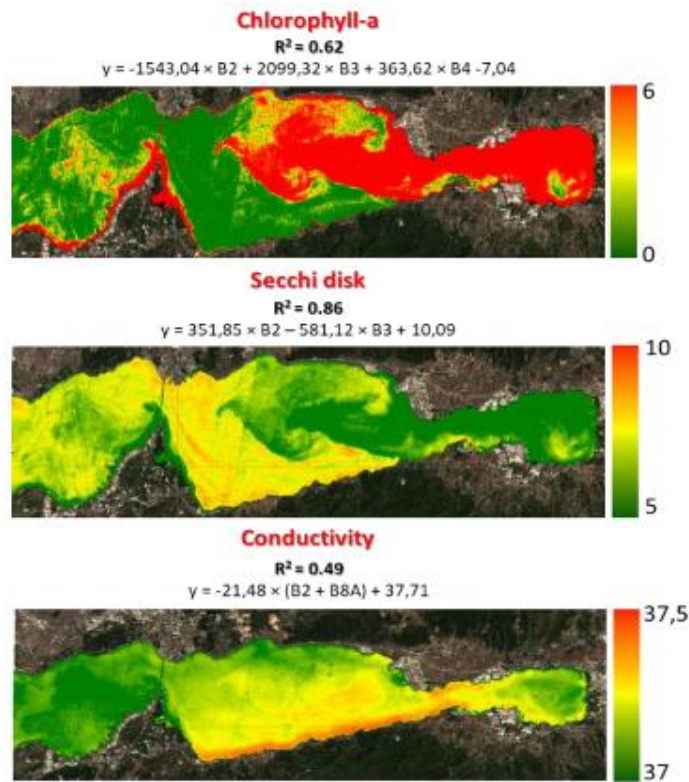


Şekil 3.18 Gemlik Körfezi Farklı Model sonuçları (Sunar F. ve ark., 2022)

Analizde ölçülen parametrelerden su kirliliğinde belirleyici ana faktörler arasında yer alan Klorofil-a ve Seki diski parametreleri göz önüne alınmıştır. Seçilen parametreler, uydu görüntüleri kullanılarak genellikle tek bantlar, bant oranları veya bant aritmetiği ile literatürde de sıklıkla tercih edilen ampirik yöntemlerden tahmin edilmektedir.

İzmit Körfezi'nde gerçekleştirilen analizler sonucunda, en iyi regresyon modelleri tarafından üretilen üç farklı su kalitesi

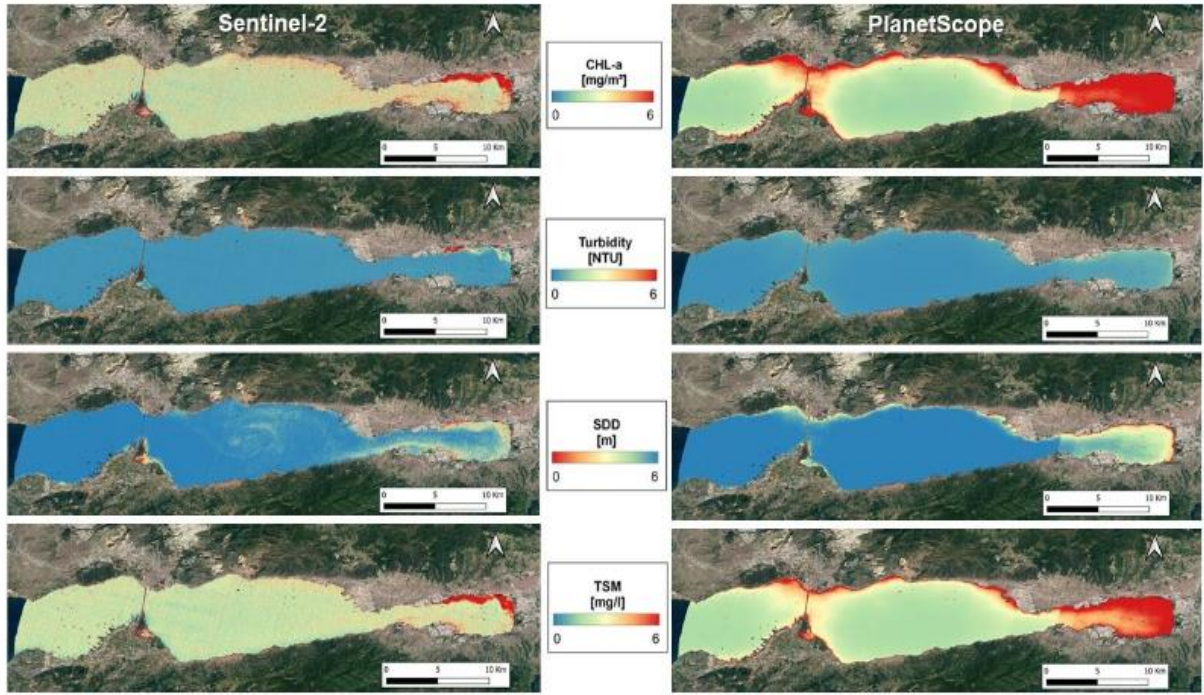
parametresinin mekânsal dağılım haritaları sunulmaktadır (Şekil 3.19). Analiz sonuçlarına göre, doğu havzası ile orta havzanın doğu havzasına yakın bazı bölgelerinin, körfezin diğer kısımlarına kıyasla daha kirli olduğu (yüksek Chl-a ve düşük Secchi disk değerleri) gözlemlenmiştir. Bu bulgular, bölgedeki farklı su kalitesi parametrelerinin mekânsal değişimlerini detaylı bir şekilde ortaya koymakta ve kirlilik seviyelerinin bölgesel dağılımına ilişkin önemli ipuçları sunmaktadır.



Şekil 3.19 İzmit Körfezi Farklı Model sonuçları (Sunar F. ve ark., 2023a)

Uydu verilerinin spektral ve mekânsal çözünürlüklerinin model doğruluğuna olan etkisini incelemektedir. Bu kapsamda, İzmit Körfezi'nde farklı spektral ve mekânsal çözünürlüklere sahip iki uydu verisi (Sentinel-2 ve PlanetScope) kullanılarak yapılan analizler sonucunda, en iyi modellerden elde edilen dört su

kalitesi parametresinin (Chl-a, bulanıklık, SDD ve TSM) mekânsal dağılımını gösteren tematik haritalar hazırlanmıştır (Şekil 3.20). Analiz sonuçlarına göre, PlanetScope verileri ile oluşturulan model performansının, Sentinel-2 verilerine kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



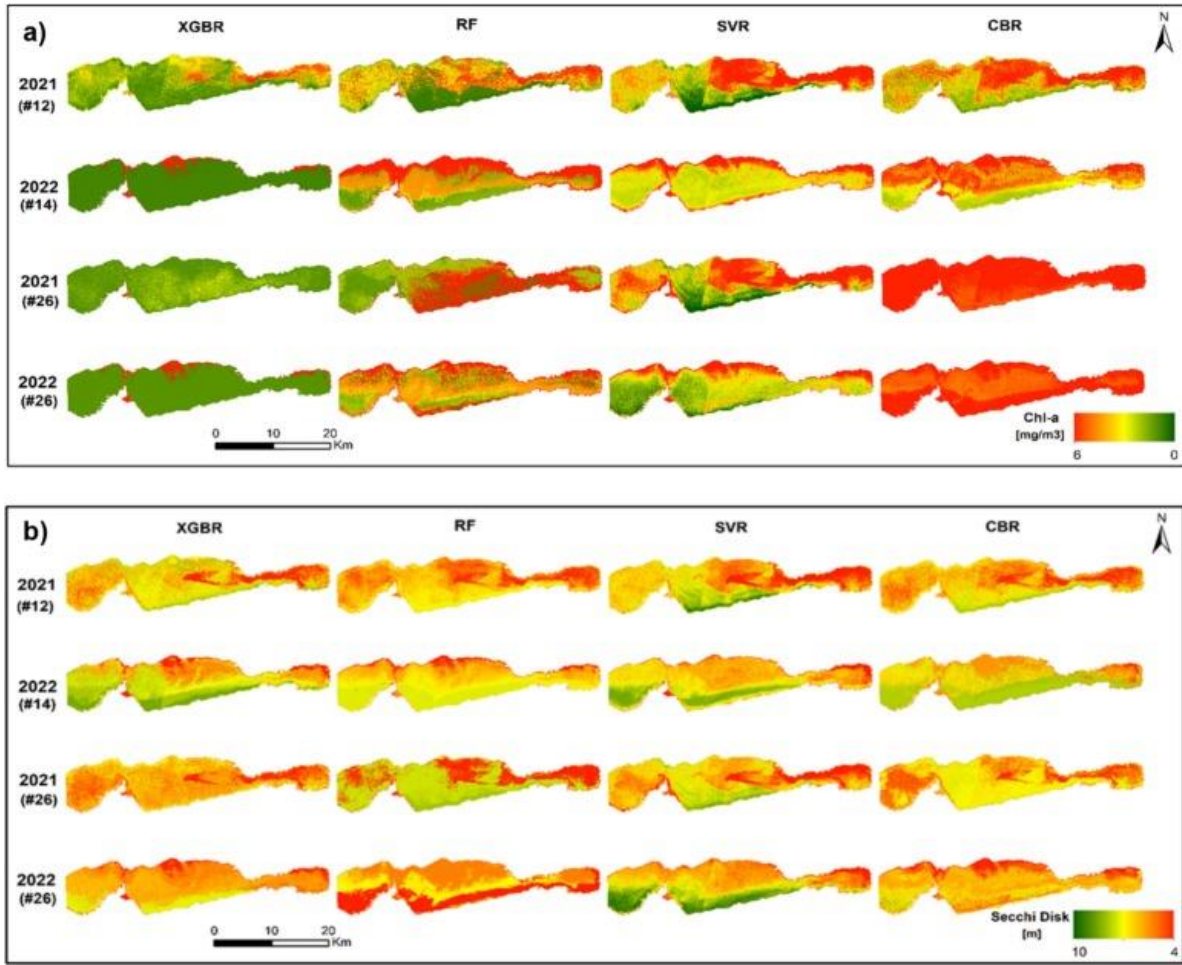
Şekil 3.20 İzmit Körfezi mekânsal dağılımını tematik haritaları (Sunar F. ve ark., 2023b)

İzmit Körfezi'nde yersel su kalite ölçümlerinin beraberinde yersel spektrometre ile alınan noktasal bazdaki yansıtma değerleri, yersel ölçüm nokta sayısının fazlalığı ve farklı mevsimlerde alınması, vb. ölçme farklılıklarının model sonuçlarına ve doğruluğa etkisinin irdelenmeside göz önünde bulundurulmuştur.

Gelişmiş makine öğrenimi (ML) modellerinin, geleneksel regresyon tekniklerine kıyasla deniz ortamlarındaki kritik su kalitesi parametrelerini daha doğru tahmin edebilme potansiyelini araştıran bir diğer çalışmada, Ekim 2021 ve 2022'de gerçekleştirilen yersel ölçümler ve Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak İzmit Körfezi'ndeki Klorofil-a ve Secchi Disk Derinliği'nin mekânsal-zamansal dağılımı ortaya konulmuştur. Test edilen 4 model arasında, Destek Vektör Regresyonu (SVR) modeli SDD (1,11-1,70 m) ve Chl-a (1,16-4,97 mg/m³) için en düşük RMSE'yi, SDD (0,86-1,43 m) ve Chl-a (1,03-3,17 mg/m³) için ise en düşük MAE'yi

sağlayarak en iyi tahmin performansını göstermiştir (Şekil 3.21). Ayrıca, 2021 ve 2022 yılları arasında, SVR model tahminleri ile yersel ölçümler arasında yüksek uyum gözlemlenmiş ve hipertrofik Chl-a koşullarından ötrofik seviyelere, mezotrofik-ötrofik SDD koşullarından ise oligotrofik seviyelere doğru bir geçiş tespit edilmiştir. Bu bulgular, ML modellerinin deniz ekosistemlerinde su kalitesinin izlenmesi ve yönetiminde doğruluğu artırma potansiyelini başarıyla ortaya koymaktadır.

Yukarıda belirtilen çalışmalarda elde edilen tahmin modellerinin mekânsal dağılımları, bu alanda yapılan diğer literatür çalışmalarına paralel olarak, Körfez'in kuzey ve doğu havzalarında, özellikle kıyı şeridi boyunca daha yüksek Klorofil-a konsantrasyonları ve daha düşük Seki diski değerleri ile daha iyi tahminler göstermiştir. Buna karşılık, Körfez'in güney bölgesinde daha düşük Klorofil-a konsantrasyonları ve daha yüksek Seki diski değerleri gözlenmiştir.



Şekil 3.21 Ekim 2021 ve 2022’de gerçekleştirilen yersel ölçümler sırasında, iki parametre için en iyi tahmin performansını gösteren ML regresyon modellerinin mekânsal dağılımı: (a) Klorofil-a ve (b) SDD (Sunar F. ve ark., 2024)

Yersel ölçmelerin uzaktan algılama verileriyle entegrasyonuna yönelik analizler devam etmektedir. Elde edilen bulgular, model doğruluğunun; su kalite parametresine, pilot bölgeye, ölçüm alınan zamana ve parametrenin konsantrasyon seviyesine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, model doğruluğu üzerinde kullanılan uydu algılayıcısının spektral ve mekânsal çözünürlükleri, ön işleme süreçlerinin doğruluğu, bölgenin temsil edilebilirliği için gerekli ve yeterli nokta alımı ile saha bazlı yersel ölçüm alım sıklığı gibi faktörlerin belirgin etkileri olduğu gözlemlenmiştir.

Uzaktan algılama verileri ile elde edilen su kalitesi tahminleri, 2019-2022 yıllarında Marmara Denizi’nde yer alan pilot alan çalışmasında yüksek düzeyde doğrusal

ilişki sergilemiştir. Uydu tabanlı tahminlerle yersel ölçümler arasındaki korelasyon Klorofil-a için yaklaşık %80–85, bulanıklık ve Seki Disk derinliği için %62–65 düzeyinde bulunmuştur. Bu yüksek korelasyon değerleri, modelin Marmara Denizi’ndeki İzmit Körfezi ve Gemlik Körfezinde başarılı olduğunu göstermektedir. Buradaki yüzdelik korelasyon katsayısını ifade etmekte olup, modelin doğruluk oranını belirtmemektedir.

Korelasyon, tahmin edilen ve gözlenen değerlerin birlikte değişim uyumunu gösterir. Modelin farklı bölgelerde veya koşullarda performansının ortaya konulması için, bu bölgelerde in-situ analizlerle ilişkiler ve uyumluluk düzeyleri ortaya konulmalıdır.

3.4 Su Kolonu Habitatları

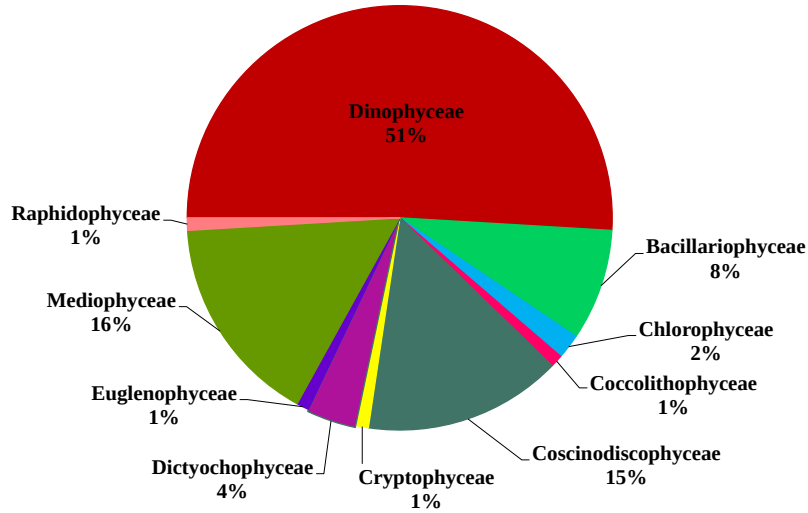
Su kolonu habitatları biyotik ve abiyotik bileşenlerden oluşur. Biyotik bileşenler daha çok suyun hareketi ile hareket etme özelliğine sahip ve alt trofik seviye bileşenleri olan fitoplankton ve zooplanktondur. Ayrıca, balık yumurta/larvaları da bu sınıfta yer alır. Diğer yandan, su kolonu boyunca besin maddelerinin tüketimi ve ışığın kullanımı ile başlayan ototrof üretim, organik maddenin oluşmasını sağlar ve ölüm sonrası bu madde bakteriler tarafından parçalanarak sisteme anorganik bileşenler olarak iade edilir. Su kolonu habitatları üst

trofik seviyelerinde, pelajik balıklar ve kafadanbacaklılar yer alır. Su kolonunda oluşan besin zincirine su kuşları ile deniz memeli ve reptilleri de dahildir. DSÇD tanımlayıcılarından T1 (biyolojik çeşitlilik), T2 (yabancı türler) ve T4 (besin ağı)’ü destekleyen izleme bileşenidir. DEN-İZ (2014-2016) kapsamından su kolonu habitatları izlemelerine sadece fitoplankton ve abiyotik bileşenler (deniz suyu fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ışık geçirgenliği) dahil edilmiş olup 2017 yılından itibaren zooplankton çalışmaları da izleme kapsamına alınmıştır.

3.4.1 Fitoplankton

Fitoplankton, çevresel koşullardaki değişimlere hızlı tepki vermeleri ve su kalitesi için indikatör olabilecek özellikler sergilemeleri nedeniyle izleme çalışmalarında en çok ele alınan canlı gruplarından biridir. 2014 yılında 22 fitoplankton izleme istasyonu ile başlayan çalışma, 2020-2022 döneminde 33 istasyonda gerçekleştirilmiştir. Marmara

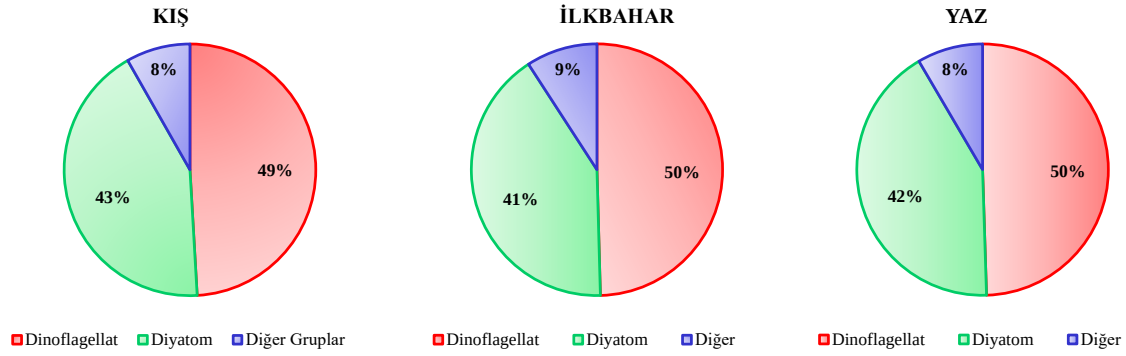
Denizi’nde kış, ilkbahar ve yaz olmak üzere 3 mevsim örnekleme gerçekleştirilmektedir. İlkbahar örneklemesine 2017 yılında başlanmıştır. 9 senelik veri incelendiğinde fitoplankton komünitesini 10 taksonomik sınıfa ait türlerin oluşturduğu, dinoflagellatın en yüksek yüzdeye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. 2014-2022 İzleme dönemlerinde fitoplankton gruplarının baskınlık durumları (%)

Mevsimlerin ortalamaları alınarak oluşturulan grafiklere göre 2 temel grup olan diatom ve dinoflagellatın komünite içinde %90’dan fazla katkıya sahip olduğu

tespit edilmiştir (Şekil 3.23). Diğer grup olarak verilen türler çoğunlukla rafidofit, kokolit, silikoflagellat gruplarına aittir.



Şekil 3.23. Fitoplankton gruplarının mevsimsel kompozisyonu

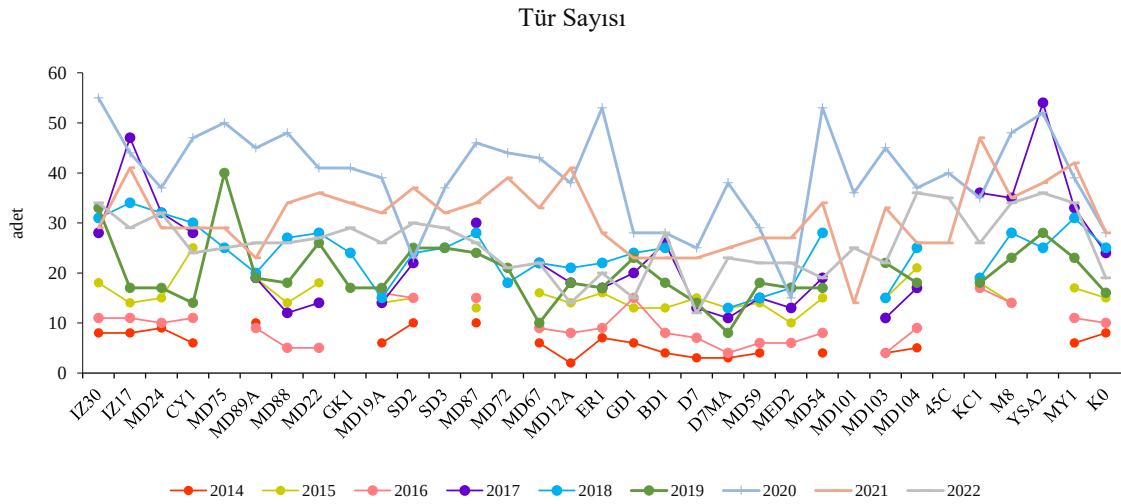
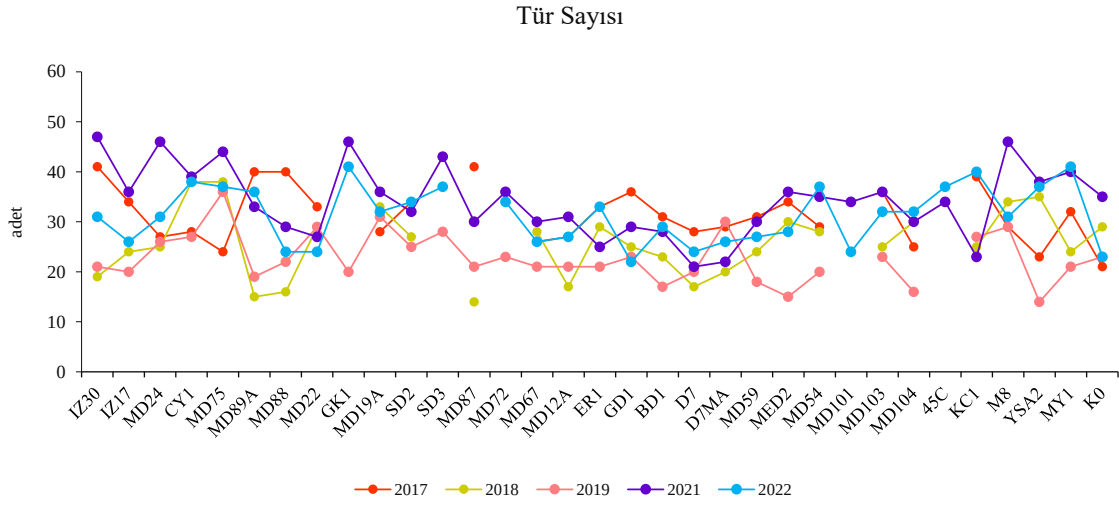
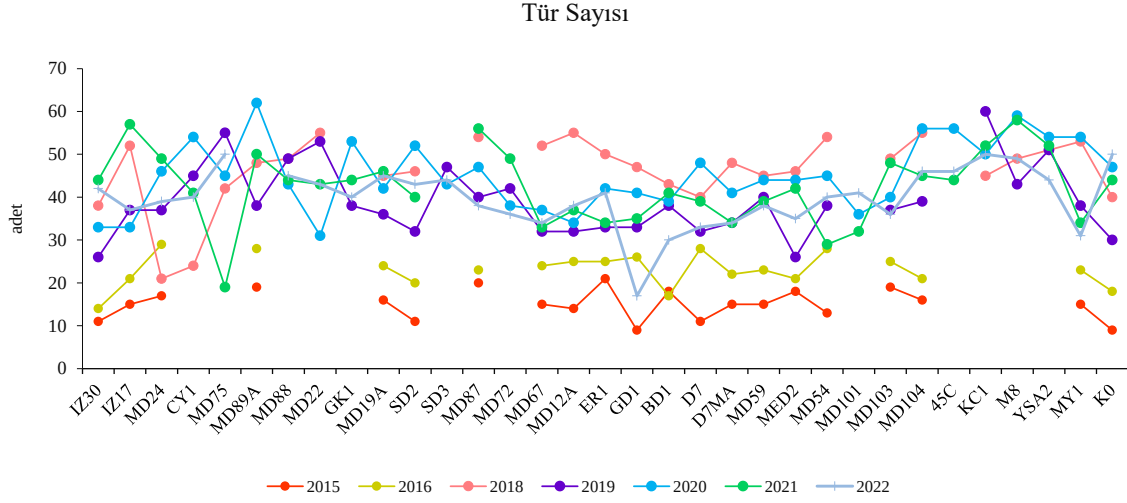
Fitoplankton Tür Sayısı Değişimi

Kış dönemlerindeki tür sayısı değişimine göre; 2015 yılından 2018 yılına artan tür sayıları olduğu görülmektedir. 2019 yılında ise 2015 ve 2016 yıllarına kıyasla yüksek, 2018'e kıyasla düşük tür sayıları tespit edilmiştir, 2020 yılında çoğu istasyonda tür sayısında artış görülmüştür. İzmit Körfezi'nde en yüksek tür sayısı 2021 kışında tespit edilmiştir. Yüksek tür sayıları özellikle Çanakkale Boğazı'ndan gelen yüksek oksijen konsantrasyonlu suyun fazlaca etkisi altında olan Kapıdağı Yarımadası'nın batı kısmındaki istasyonlarda görülmüştür. Ötrofikasyon riski yüksek bölgelerde ve İzmit Körfezi istasyonlarında, İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışında (K0) ise tür sayılarının düşük olduğu görülmektedir. 7 dönemin en yüksek tür sayısı 2020 yılında MD89A (Gemlik iç körfez) istasyonunda (62 tür) saptanmıştır. Marmara Denizi genelinde tür sayıları belirli aralıkta gözlenmekte olup yıllık bazda değişim az olmaktadır. 2021 müsilaj döneminin hemen öncesini temsil eden 2021 kışında minimum düzeye düşen bolluk değerlerinin aksine tür sayılarında bu dip değerler gözlenmemiş,

Marmara Denizi genelinde belli bir seviyede kalmıştır.

İlkbahar dönemlerindeki tür sayısı değişimine göre, genel olarak Marmara Denizi'nde 2017'den 2019'a azalan bir grafik söz konusu iken 2021 yılında istasyonların çoğunda tür sayıları artış göstermiş, 2022'de tekrar tür sayısı düşüşe geçmiştir. 5 yılın değerlerine bakıldığında en yüksek tür sayısı 2021 ilkbahar örneklemeğinde İzmit Körfezi'nde (IZ30) görülmüştür (47 tür).

Marmara Denizi'nde yaz döneminde 2014 yılında 31 tür, 2015'te 49 tür, 2016'da 46 tür, 2017 yılında 111 tür, 2018 yılında 85 tür, 2019 yılında 83 tür, 2020 yılında ise 108 tür, 2021 yılında ise 111 tür, 2022'de 107 tür teşhis edilmiştir. 2017 yılına kadar artış eğiliminde olan tür sayısı, 2017'den sonra yerini azalışa bırakmış; 2020 yılında ise genel olarak 9 dönemin en yüksek tür sayısı gözlenmiştir (Şekil 3.24). 2014'den bu yana kesintisiz toplam 9 yaz döneminde yapılan örnekleme sonuçlarında en yüksek tür sayısı 2020 yılında İzmit iç körfez istasyonu olan IZ30'da (55 tür) saptanmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Marmara Denizi yüzey suyunda fitoplankton tür sayısı değişimi (Üst: Kış, Orta: İlkbahar, Alt: Yaz)

Toplam Fitoplankton Bolluğu Değişimi

Kış döneminde, 2018 yılında istasyonların bolluk değerleri diğer yıllara kıyasla daha yüksektir. 2018 kışında Marmara Denizi genelinde görülen *Skeletonema costatum* (diyatom) türünün aşırı üremesi (bloom) bu durumun sebebidir. Kıyaslama yapılan 7 örnekleme döneminde en yüksek fitoplankton hücre bolluğu Ocak 2018 örneklemesinde MD19A (Bursa-Bayramdere) ($3,88 \times 10^6$ hücre l^{-1}), en düşük hücre bolluğu ise CY1 (Çınarcık) (6300 hücre l^{-1}) istasyonunda tespit edilmiştir. Kıyaslaması yapılan kış dönemlerinde istasyonların yıllara göre bolluk değişimleri farklılık göstermiş olup 2020 kışı önceki yıllara kıyasla düşük bolluk değerlerinin görüldüğü, 2021 kışı ise müsilajın hemen öncesi olması sebebiyle bolluk değerlerinin çok düştüğü örnekleme dönemleri olarak göze çarpmaktadır. 2022 yılında ise ekosistemde kış döneminin olağan parterni gözlenmiş, bolluk değerleri beklenen sınırlarda görülmüştür.

İlkbaharda istasyonlardan bazıları yıllara göre farklılık göstermekle birlikte Marmara Denizi genelinde 2017'den 2019'a doğru artan bir hücre bolluğu göze çarpmaktadır. 5 yılın en yüksek hücre sayıları 2019 yılında görülmüştür. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz çıkış istasyonu olan K0'da $6,55 \times 10^5$ hücre l^{-1} tespit edilmiştir. Bu dönemde *Pseudo-nitzschia* spp. bireylerinin yoğunluğu bu istasyondaki yüksek bolluğun sebebidir. 2021 ilkbahar

örneklemesi müsilaj şartları altında gerçekleştirilmiştir. 2021 yılında fitoplankton bolluğu açısından istasyonlar arası farklılıklar görülmüş, genel olarak düşük hücre sayıları tespit edilmiştir. 2022 örneklemesinde istasyonların tümünde 2021'e kıyasla düşük fitoplankton bolluğu tespit edilmiştir.

2015 yaz döneminde yüksek olan fitoplankton bolluğu 2016 ve 2017 yazında nispeten düşüktür. 2014 yaz döneminde en yüksek fitoplankton bolluğu MD89A (Gemlik iç körfez), 2015 yaz döneminde MY1 (Tuzla), 2016 yaz döneminde IZ30 (İzmit iç körfez), 2017 yaz döneminde MD87 (Bandırma Körfezi) istasyonunda, 2018 ve 2019 yaz döneminde ise IZ30 (İzmit iç körfez), 2020 yılında ER1 (Erdek Körfezi) adlı istasyonda, 2021 ve 2022'de IZ30'da tespit edilmiştir. Özellikle körfez içi istasyonlarda bolluk değerlerinin yaz dönemlerinde oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. 9 yılın en yüksek bolluk değeri ise 2018 yılında IZ30'da (İzmit iç körfez) ($1,53 \times 10^6$ hücre l^{-1}) tespit edilmiştir. 2014-2017 yıllarında diyatom türlerinin bolluğundan kaynaklanan yüksek fitoplankton değerleri gözlenirken, 2018 ve 2019'da diyatom ve dinoflagellat gruplarının Marmara Denizi'ni hemen hemen benzer oranlarda domine ettiği görülmüştür. Son örnekleme dönemlerinde dinoflagellat bolluk değerlerinin artışa geçtiği göze çarpmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Marmara Denizi yüzey suyunun toplam fitoplankton bolluğu değişimi (Üst: Kış, Orta: İlkbahar, Alt: Yaz)

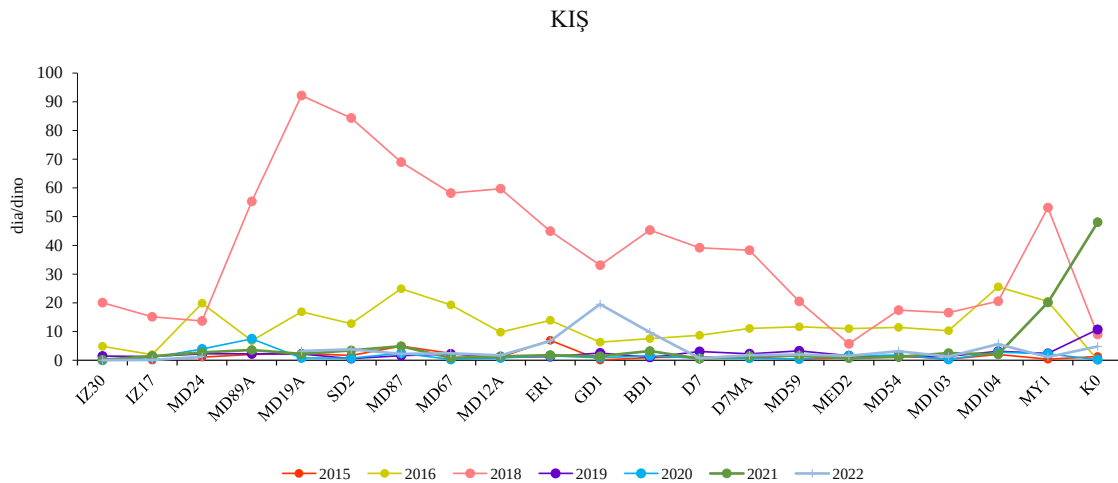
Diyatom/Dinoflagellat Oranı Değişimi

Kış döneminin Diyatom/Dinoflagellat oranı değişimleri yıllara göre kıyaslandığında; 2015 yılında Marmara Denizi'nde baskın olan dinoflagellat, 2016 ve 2018 yılında yerini diyatoma bırakmıştır. 2019 yılında yeniden dinoflagellat hakimiyeti görülmüştür. Özellikle 2018 yılında diyatom türlerinin baskınlığı oldukça yüksek olmuştur. Bu dönemde meydana gelen *Skeletonema costatum* türünün aşırı üremesi (bloom) bu baskınlığın sebebidir. Kıyaslama yapılan 7 kış dönemi içinde 2020, dinoflagellat baskınlığının en yüksek olduğu yıl olmuştur. 2021 yılında MY1 (Tuzla) ve K0 (Karadeniz çıkışı) istasyonlarında yüksek diyatom bolluğundan kaynaklanan yüksek oran tespit edilmiştir. 2022 yılında Erdek Körfezi istasyonlarında diyatom baskınlığı göze çarpmaktadır. Diğer istasyonlarda dinoflagellat baskınlığı oldukça yükündür.

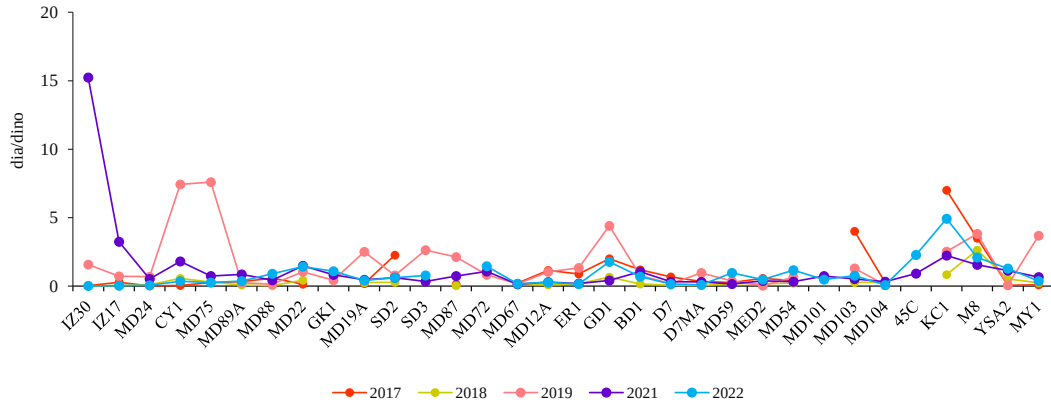
İlkbahar döneminde Diyatom/Dinoflagellat oranlarının dağılımına göre yıllar kıyaslandığında; genel olarak dinoflagellat baskınlığı olduğu görülmektedir. 2019 yılında K0 istasyonunda komünite diyatom türleri tarafından yüksek oranda domine

edilmiştir. 2021 ilkbahar örneklemeğinde İzmit iç körfez istasyonu (IZ30) dışında istasyonların tamamında dinoflagellat baskınlığının hakim olduğu görülmektedir. 2022 örneklemeğinde diyatom:dinoflagellat oranının oldukça düşmüş olduğu komünitede dinoflagellat hakimiyetine işaret etmektedir.

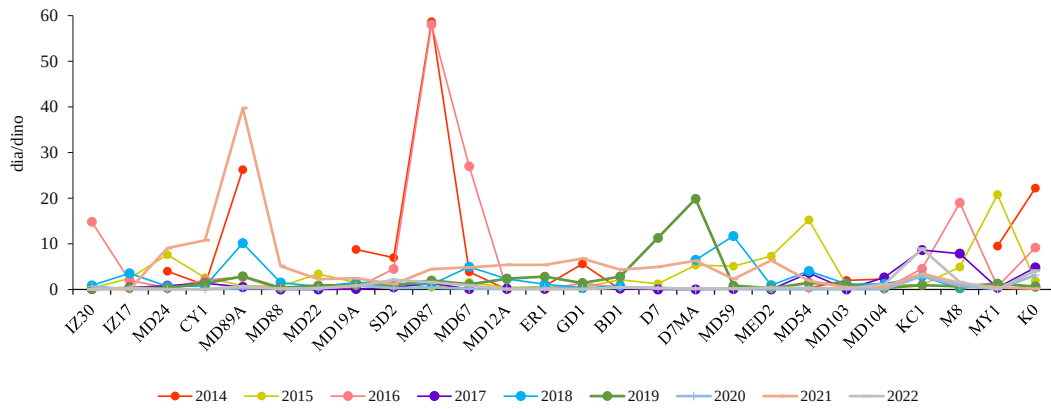
9 dönemin yaz verilerine göre Marmara Denizi genelinde dinoflagellat baskınlığı görülmüştür. Veriler yıl ve istasyon özelinde incelendiğinde ise farklılıklar göze çarpmaktadır. Bunlardan en bariz olanları şu şekildedir: 2014 ve 2016 yaz örneklemeğinde MD87'de (Bandırma Körfezi); 2014 ve 2021'de Gemlik iç körfezde (MD89A); 2016'da MD67 (Marmara adası) ve M8 (İstanbul Boğazı girişi) istasyonlarında; 2019'da D7 ve D7MA (Çanakkale Boğazı girişi) istasyonlarında; 2021'de MD89A'da (Gemlik iç körfez) diyatomlar dinoflagellatlara kıyasla daha baskın olmuştur. 2021'de, 2020 ve 2022 yıllarına kıyasla diyatom baskınlığı az farkla yüksek seyretmiştir (Şekil 3.26).



İLKBAHAR



YAZ



Şekil 3.26. Diatom/Dinoflagellat Oranı değişimi

Tür Çeşitliliği Değişimi

Yıllara göre tür çeşitliliği değişimi değerlendirilmesinde Shannon & Weaver indeksi (H') kullanılmıştır. Kış döneminde tüm istasyonlarda en yüksek çeşitlilik indeksi değerleri 2019 yılında saptanmıştır. Özellikle Marmara Denizi orta baseni ve güneybatı kısmında bulunan istasyonlarda tür çeşitliliğinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. 2018 yılında ise çeşitlilik, Marmara Denizi'nde meydana gelen tek tür baskınlığı (*Skeletonema costatum*) nedeniyle oldukça düşüktür. 2020 yılında 2019'a kıyasla daha düşük indeks değerleri saptanmış, çeşitlilik indeksi değerleri 2021'de artış göstermiştir. Müsilaj öncesi dönemi temsil eden 2021 kışında azalan bolluk değerleri özellikle güney basende tür çeşitlilik indeksinin yüksek hesaplanmasına neden olmuştur. 2022 yılında ise tür çeşitliliğinin düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Artan bolluk değerlerinin ve tür baskınlıklarının bu

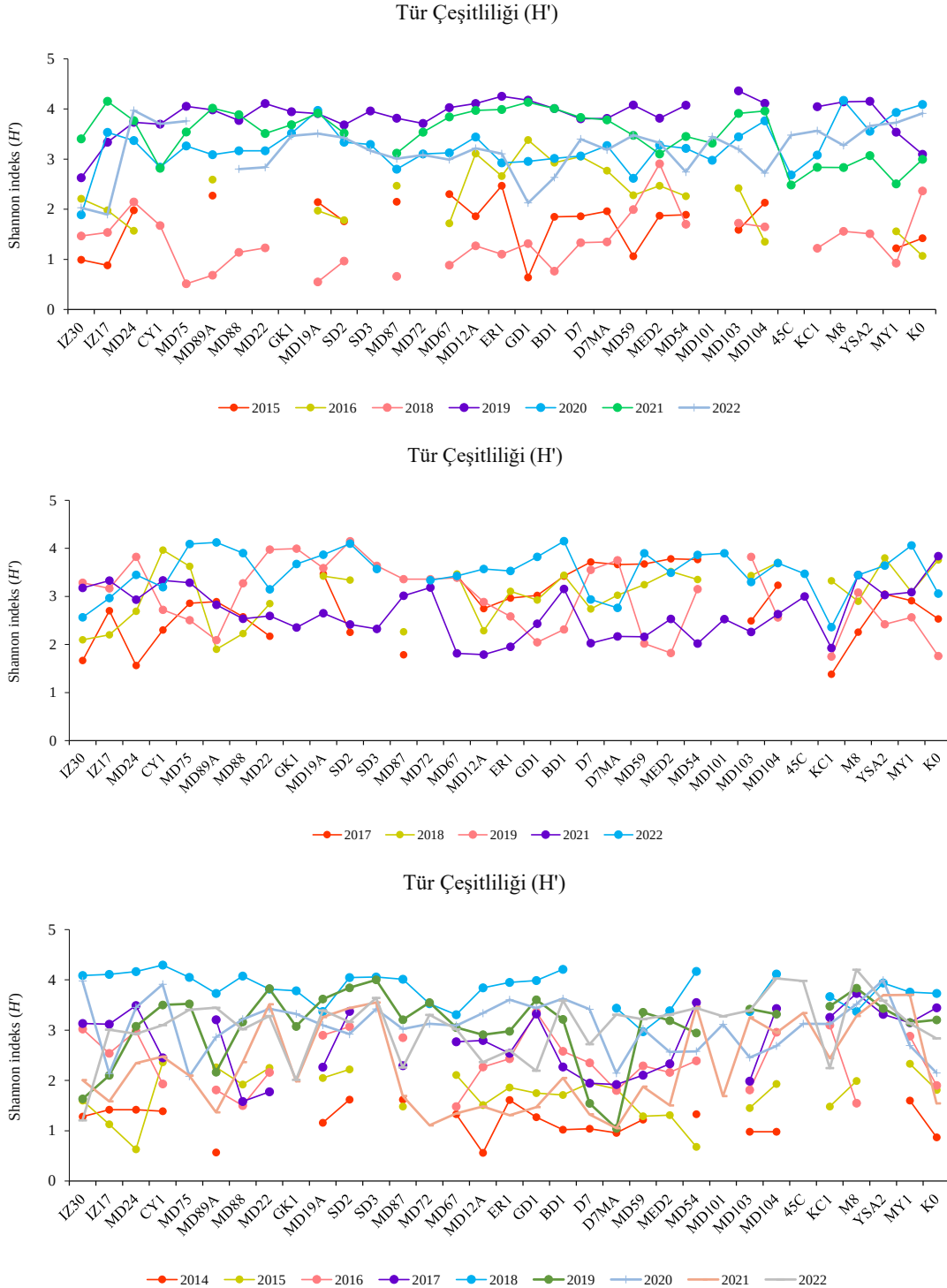
dönemde çeşitliliği azaltmış olması beklenen bir durumdur. Kış dönemlerinde istasyonlarda hesaplanan tür çeşitliliği değerlerinin ortalaması alındığında yüksek çeşitliliğe sahip ilk 3 istasyonun GK1 (Gemlik Körfezi dışı), SD3 (Susurluk Çayı girişi) ve MD72 (Bandırma Körfezi) olduğu görülmüştür.

İlkbahar dönemi değişimlerine bakıldığında 2017'den 2019'a artış trendinde olan tür çeşitliliği 2019 ilkbaharında *Noctulica scintillans* türünün aşırı üremesi (bloom) ve bunun sonucu olarak tek tür baskınlığı sebebiyle düşmüştür. 2021 ilkbaharında müsilaj koşulları nedeniyle oldukça düşen tür çeşitliliği 2022 yılında artış göstermiştir (Şekil 3.27). 5 senelik veriye göre en yüksek tür çeşitliliği 2022 ilkbaharında BD1 istasyonunda tespit edilmiştir. İstasyonların yıllık çeşitlilik ortalamaları hesaplandığında yüksek tür çeşitliliğine sahip ilk 3 istasyon GK1 (Gemlik Körfezi dışı), MD19A (Bursa Bayramdere-

açık) ve BD1 (Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi) şeklinde tespit edilmiştir.

Yaz döneminde 2018 yılına ait çeşitlilik değerlerinin önceki yıllara göre yüksek olduğu, 2019 ve 2020 yıllarında ise çeşitliliğin düşmüş olduğu kaydedilmiştir. En yüksek çeşitlilik 2018 yılında CY1 (Çınarcık) istasyonunda

görülmüştür. 2021 yazında Marmara Denizi'nin kuzeybatısındaki tür çeşitliliğinin diğer yıllara kıyasla oldukça düşük olduğu görülmüştür. 2022 yılı örneklemeğinde 2021'e kıyasla yükselmiş çeşitlilik değerleri tespit edilmiştir. 2022'de IZ30'daki yüksek fitoplankton bolluk değeri çeşitliliğin düşmesine sebep olmuştur (Şekil 3.27).

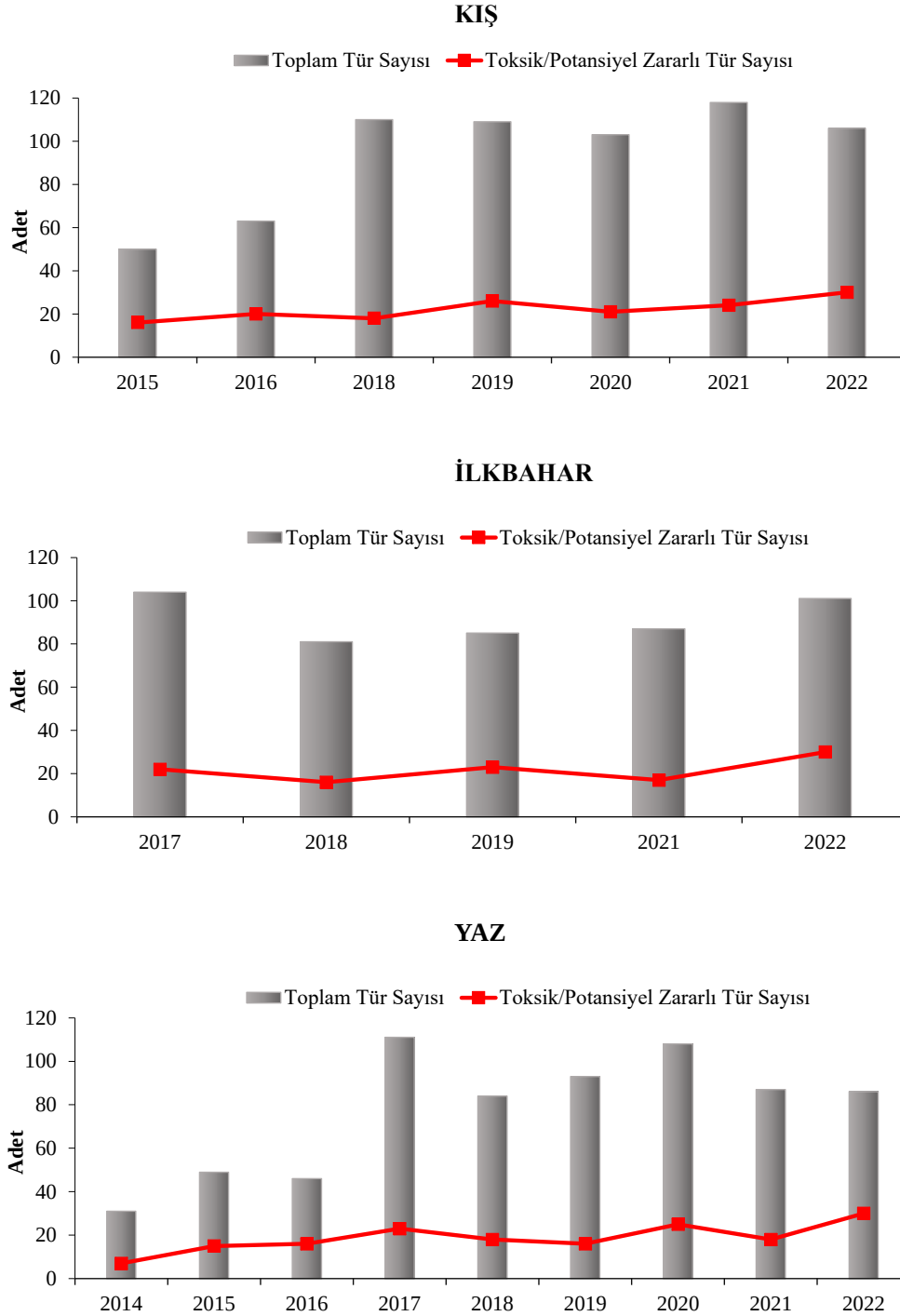


Şekil 3.27. Marmara Denizi'nde Shannon indeksine (H') göre tür çeşitliliği değişimi (Üst: Kış, Orta: İlkbahar, Alt: Yaz)

Zararlı Türlerin Varlığı

Marmara Denizi'nde tespit edilen toksik/potansiyel zararlı tür sayılarının yıllık değişimi Şekil 3.28'de verilmiştir. 2022 yılında özellikle toksik türlerin artış gösterdiği tespit edilmiştir. İç körfez istasyonlarında toksik/potansiyel zararlı

türlerin yoğunlaştığı görülmektedir. Bu nedenle özellikle Marmara Denizi'nin doğu basenine odaklanmak gerekmektedir. Kış dönemlerinde toksik diatom türü olan *Pseudo-nitzschia* türlerinin baskınlığı hakimdir.



Şekil 3.28. Toksik/Potansiyel zararlı tür sayılarının yıllara göre değişimi

2014 yılından günümüze Marmara Denizi'nde lokal olarak sayısız red-tide gerçekleşmiştir. Marmara Denizi genelini etkileyen red-tide oluşumları da görülmüştür. Örneğin; 2019 yılının ilkbaharında *Noctiluca scintillans* (heterotrofik dinoflagellat) türünün sebep olduğu, Marmara Denizi'nin kuzeyinden başlayarak pek çok bölgesine yayılan red-tide, komüniteyi olumsuz yönde etkilemiştir. Özellikle körfez içi kısımlarda; Marmara Denizi ana su kütlesiyle etkileşimin azalması, yüzey suyunun nispeten sıcaklığının artması, hali hazırda yüksek besin tuzu mevcudiyeti gibi sebepler red-tide oluşmasını desteklemektedir. Marmara Denizi'nin İzmit Körfezi, Haliç gibi bölgelerinde yıllık periyotta çokça red-tide oluşumu gözlenmektedir.

Marmara Denizi'nde red-tide oluşumunun yanı sıra *Emiliania huxleyi*'nin sebep olduğu turkuaz renk değişimi de son yıllarda sıkça yaşanmaktadır. Haziran 2017 ve Mayıs 2020'de İstanbul Boğazı'nda yaşanan *E.huxleyi* bloomu müsilaj sonrası döneme denk gelen Temmuz 2021'de Bandırma ve İzmit Körfezlerinde

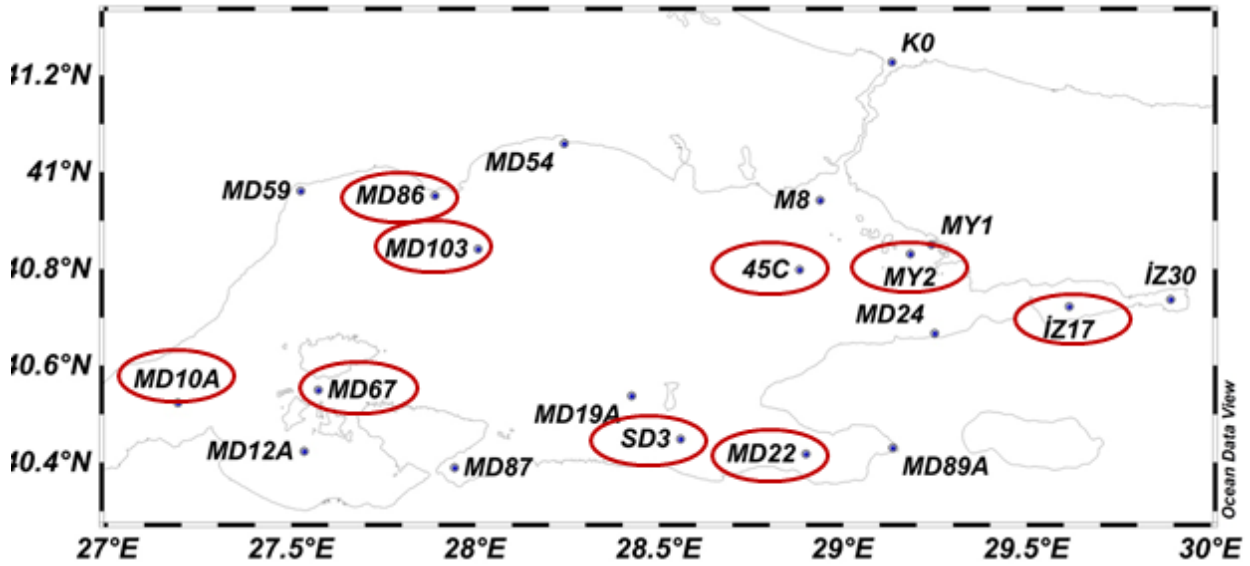
gerçekleşmiştir. Şubat 2022'de ise İzmit Körfezi'nde bir *E.huxleyi* bloomu daha görülmüştür.

2021 yılında yaşanan müsilaj olayında, pek çok komünite bileşeni gibi fitoplankton da etkilenmiştir. Müsilaj öncesi dönemi temsil eden 2020 yaz örneklemesinde fitoplankton komünitesi çöküşte olup bolluk değerleri oldukça fazla düşüş göstermiştir. Müsilajın, yüzey suyunda görülmeye başlandığı 2021 ilkbaharında tür çeşitliliği oldukça düşmüştür. Müsilaj oluşumuna katkı sağladığı bilinen *Gonyaulax fragilis*, *Cylindrotheca closterium* ve *Skeletonema costatum* türlerinin bolluk değerlerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir. Müsilajın su kolonu boyunca hareket ederek batmaya başladığı 2021 yazında komünitenin oldukça değiştiği görülmüştür. Marmara Denizi'nde oldukça düşük yoğunlukta ve frekansta görülen bir diatom türü olan *Hemiaulus* türlerinin tüm Marmara Denizi genelinde baskın hale geçtiği tespit edilmiştir. Dinoflagellat türü olan *Prorocentrum dendatum* hücrelerinin de oldukça baskın olduğu görülmüştür.

3.4.2 Zooplankton

2016-2022 yılları arasında zooplankton (0.57 m çapa ve 200 µm) ve medüz (57 cm çapında ve 500 µm) örneklemeleri UNESCO-WP2 tipi kapanır plankton kepçesi ile mevsimlik (kış, bahar ve yaz) gerçekleştirilmiştir. Zooplankton ve medüz örneklemeleri, tuzluluk-sıcaklık profilleri dikkate alınarak üst tabaka karışım suyundan gerçekleştirilmiştir. Üst tabaka örnekleme istasyonları 2016 yılında

yapılan kapsamlı çalışma sonrasında 16 istasyon olarak belirlenmiştir. 2021 yılı yaz dönemi itibarıyla 4 istasyon daha eklenerek toplam 20 istasyona ulaşmıştır. 2017 yılından bu yana sürekli izleme istasyonları Şekil 3.29'da gösterildiği gibidir, kırmızı halka ile işaretlenmiş noktalarda zooplankton için alt tabaka örneklemeleri de gerçekleştirilmektedir.



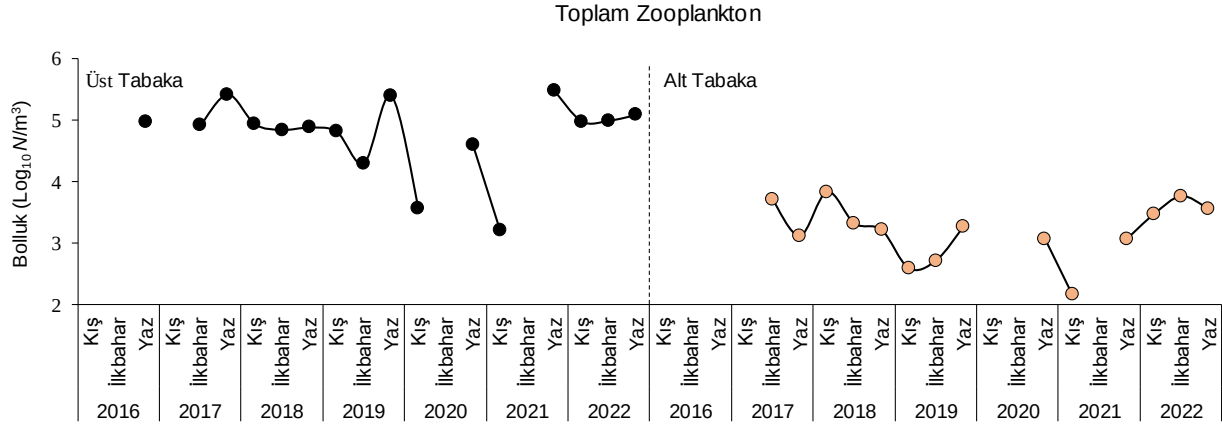
Şekil 3.29. 2017-2022 yılları arasında Marmara Denizi zooplankton örnekleme istasyonları

Not: 2017 kış seferi hizmet alım süreçlerinin uzaması ve 2020 ilkbahar seferi Covid-19 pandemisi sebebiyle gerçekleştirilememiştir. 2021 ilkbahar mevsiminde ise yaşanan müsilaj olayı sebebiyle zooplankton kepçe çekimleri etkin şekilde yapılamamıştır.

Marmara Denizi'nin sahip olduğu kararlı iki tabakalı sistemde, zooplankton komünite karakteri üst ve alt tabakada kuvvetli bir ayrışmaya sahiptir. Zooplankton bolluk değerleri üst tabakada alt tabakaya kıyasla daha yüksektir. Üst tabaka bolluk değerleri 2017, 2019 ve 2021 yaz mevsimlerinde (sırasıyla 259238 N/m^3 , 247010 N/m^3 , 294068 N/m^3) en yüksek değerlere ulaşmıştır. Bolluk değerlerinde ilk düşüş 2019 ilkbahar (19904 N/m^3) mevsiminde belirlenmiş ve en düşük bolluk değerleri ise 2020 ve 2021 kış mevsimlerinde kaydedilmiştir. 2020 kış (3728 N/m^3) zooplankton örneklerinde

tespit edilen agregasyon nedeniyle yalnızca 4 istasyona ait örnekler analiz edilmiştir. 2021 kış mevsiminde (1610 N/m^3) zooplankton örneklerinin tamamı analiz edilmesine rağmen bolluk değerleri 2020 kışının altında kalmıştır.

Alt tabakada en yüksek bolluk değerleri 2017 ilkbahar (5159 N/m^3), 2018 kış (6915 N/m^3) ve 2022 ilkbaharda (5864 N/m^3) kaydedilmiştir. En düşük bolluk değeri ise üst tabakada olduğu gibi 2021 kış mevsiminde (149 N/m^3) belirlenmiştir. 2020 yılında alınan alt tabaka örnekleri agregasyon sebebiyle analiz edilememiştir (Şekil 3.30).

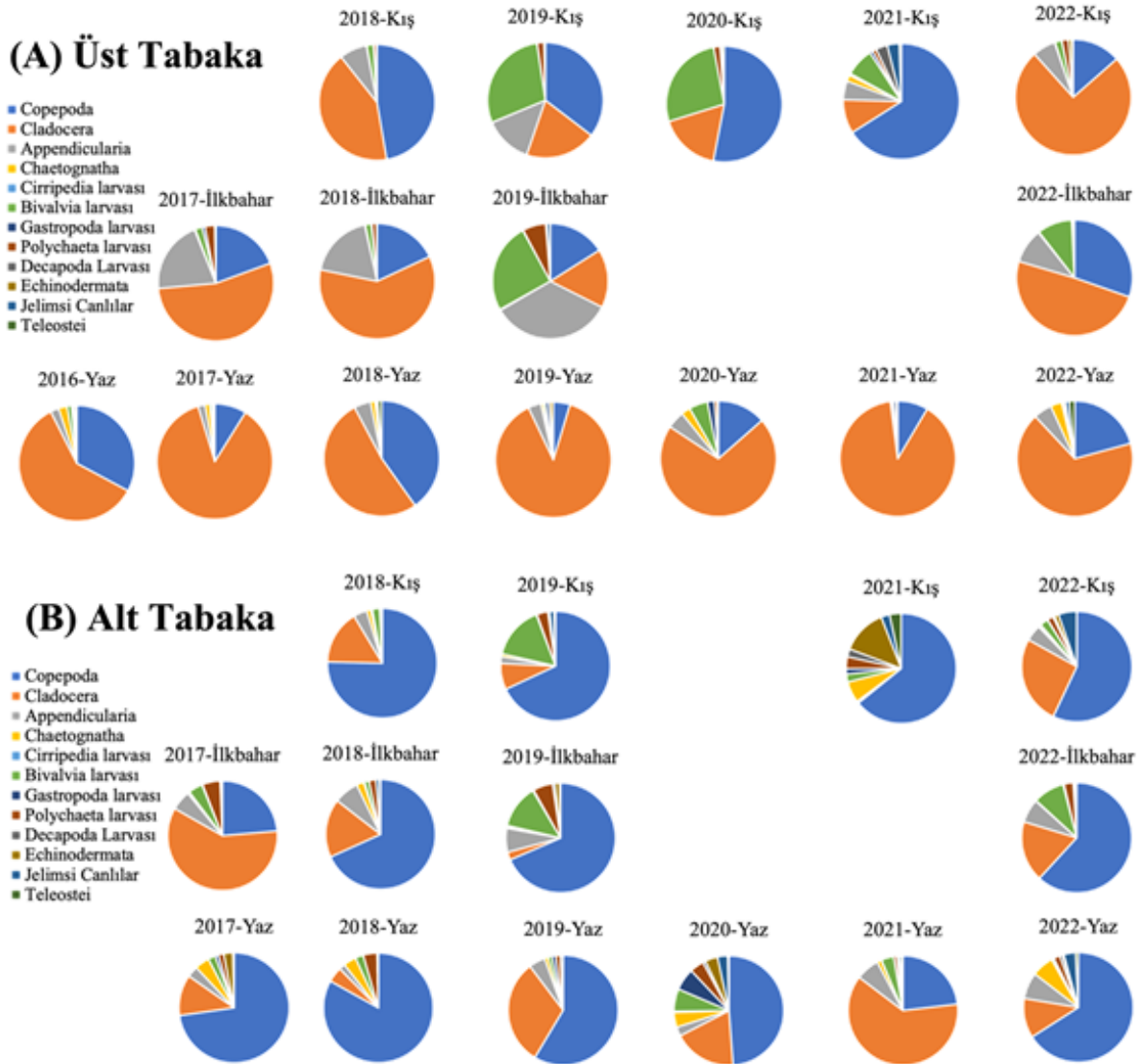


Şekil 3.30. 2016-2022 yılları arasında zooplankton bolluk değerlerinin zamana bağlı değişimi

Üst tabaka zooplankton komünite kimliğinde mevsimsel farklılaşmalar görülmüştür. Kış mevsimlerinde komünitede Copepoda grubu, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ise Cladocera grubu baskın olmuştur. Sadece 2019 yılı ilkbahar mevsiminde komüniteye en yüksek katılım oranlarına sahip gruplar sırasıyla %34 ile Appendicularia ve %25 ile Bivalvia Larvası olmuştur. Bu dönemde Cladocera ve Copepoda grupları %16'lık eş baskınlıklarıyla komüniteye katılım göstermişlerdir. Ayrıca 2021 ilkbahar döneminde yaşanan müsilaj olayı

sonrasında zooplankton gruplarında görülen bu mevsimsel farklılaşmanın yok olduğu, 2021 yaz dönemi itibarıyla 2022 yılı boyunca yalnızca Cladocera grubunun baskın olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.31A).

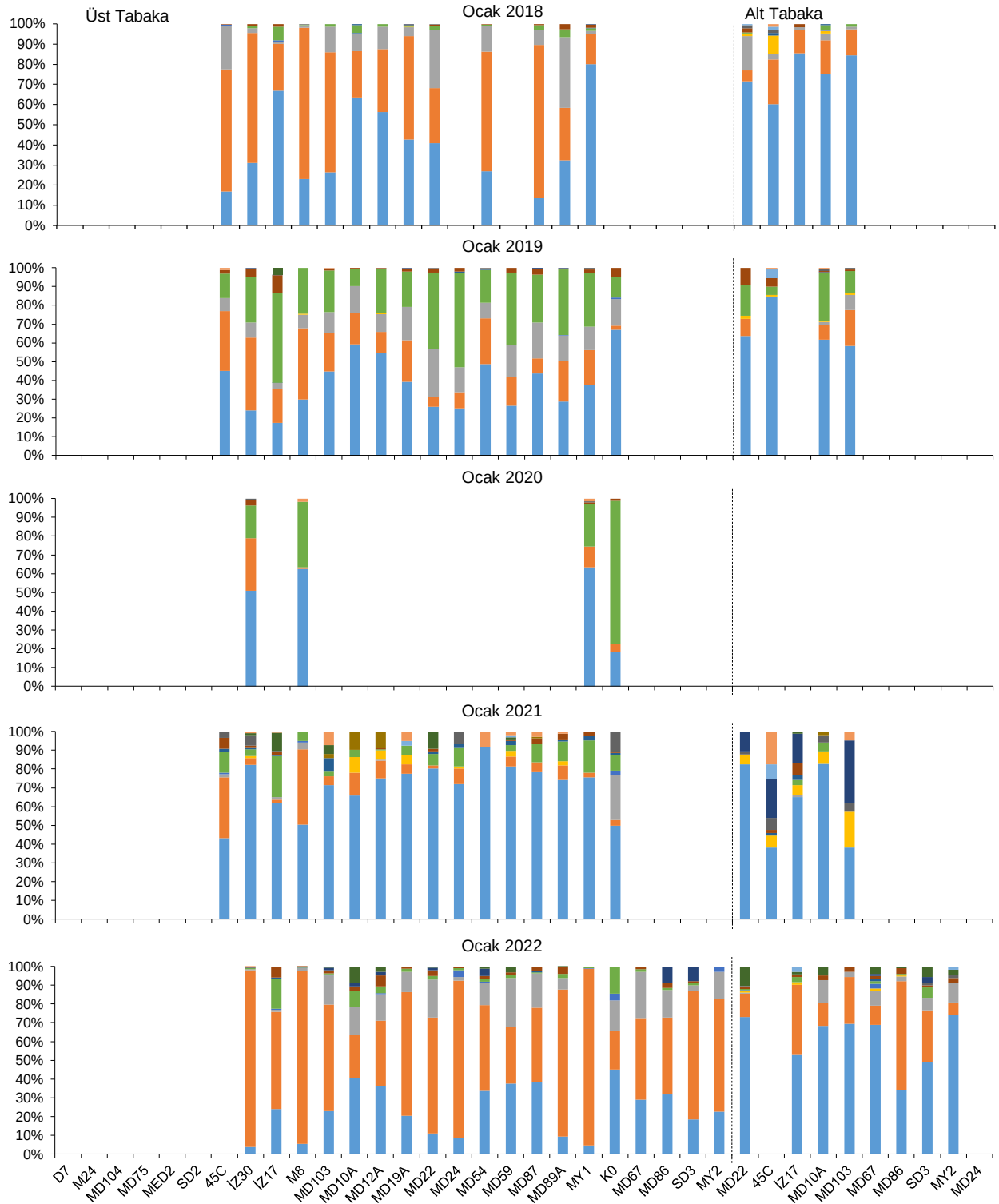
Üst tabaka zooplankton komünite kimliğindeki mevsimsel değişim alt tabakada görülmemektedir. Alt tabaka komünitesinde 2017 ilkbahar ve 2021 yaz mevsimleri dışında, yıl boyunca Copepoda grubunun baskınlığı kaydedilmiştir (Şekil 3.31B).



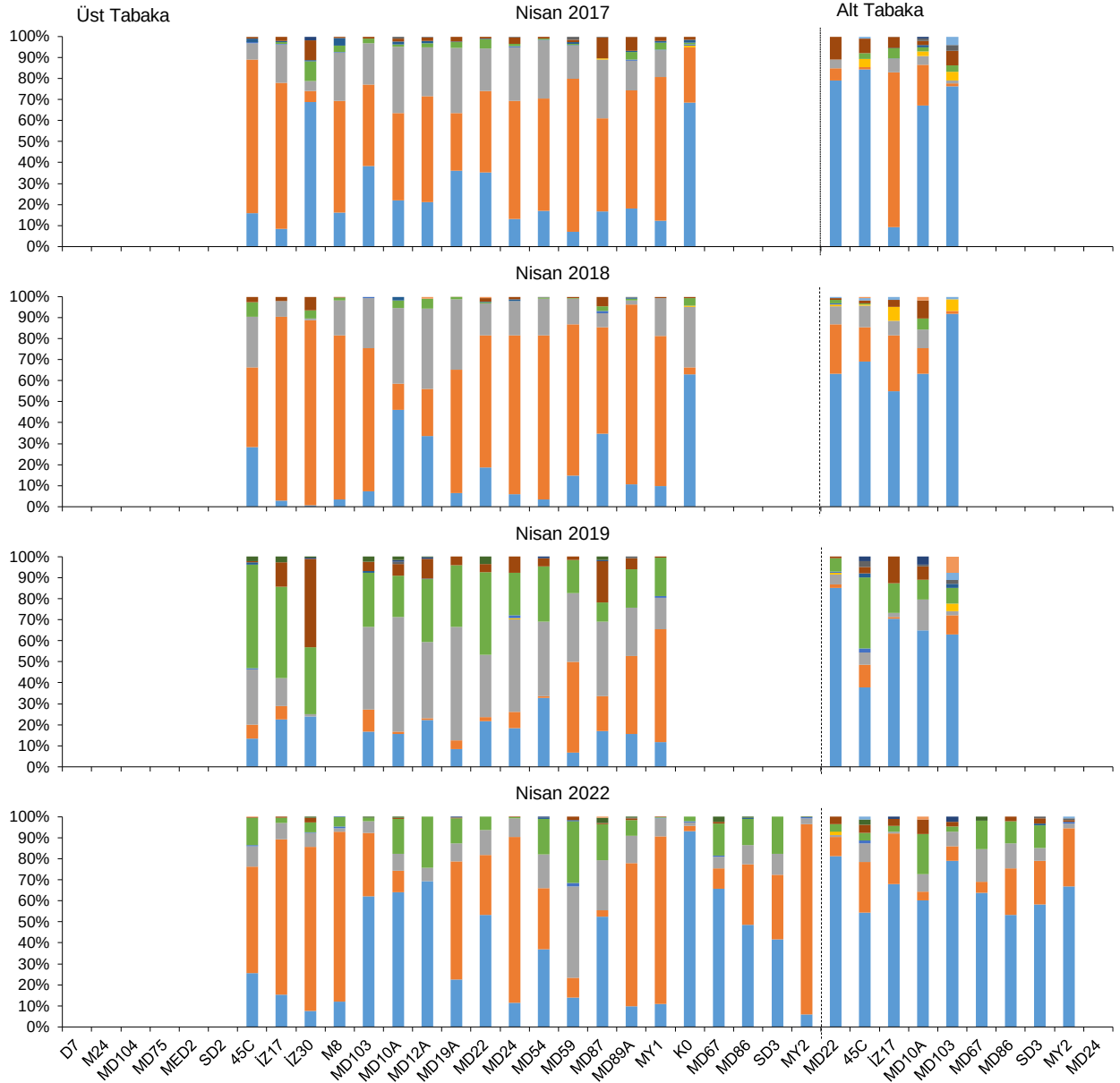
Şekil 3.31. (A) 2016-2022 yılları arasında üst tabaka baskın zooplankton gruplarının oransal dağılımlarının mevsimsel değişimleri, (B) 2017-2022 yılları arasında alt tabaka baskın zooplankton gruplarının oransal dağılımlarının mevsimsel değişimleri

Marmara Denizi'nin zooplankton komünite kimliğinde zamansal bağlamda kış, ilkbahar ve yaz mevsimleri ile tabakalar arası (alt ve üst tabaka arasında) görülen

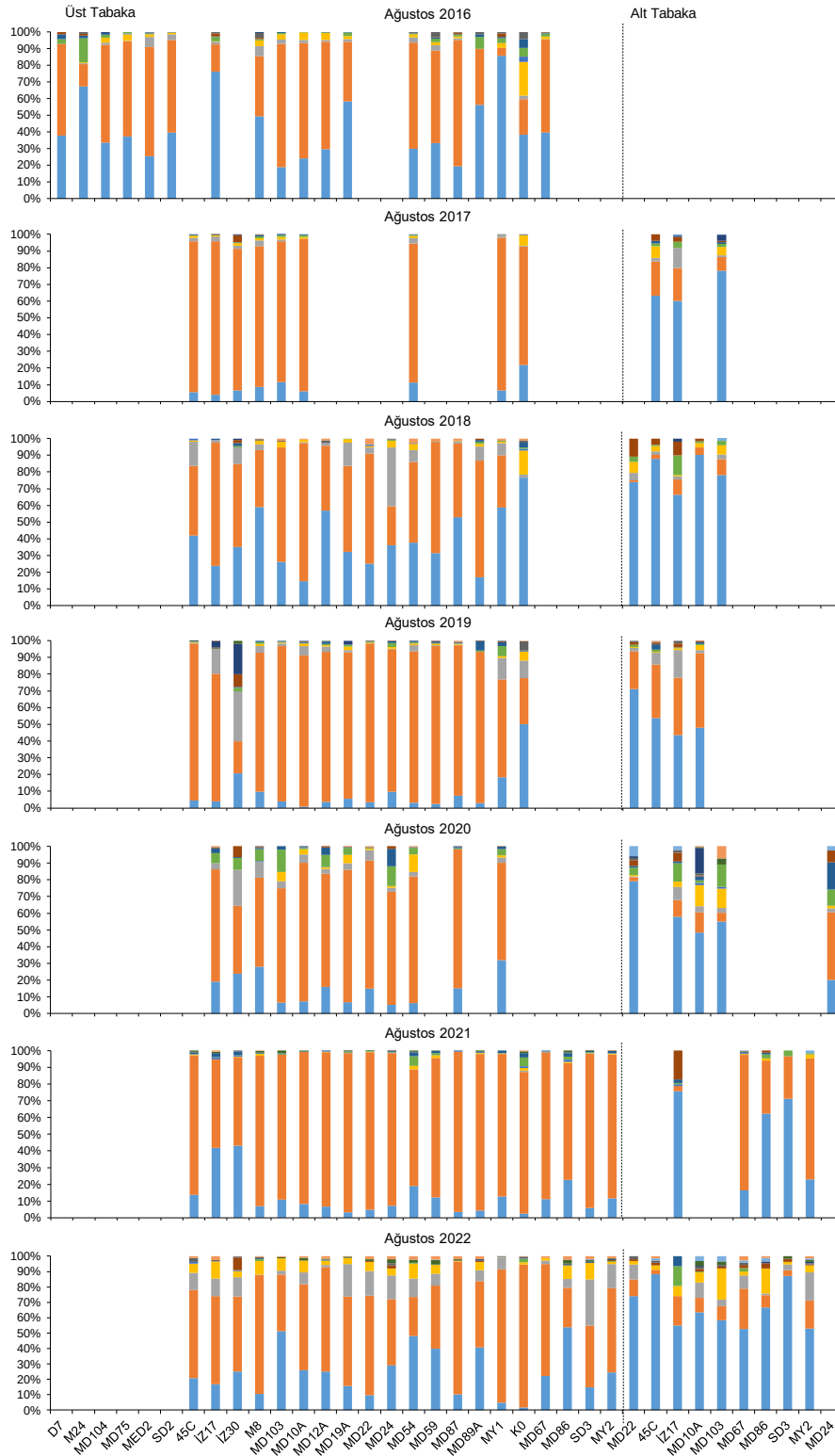
farklılaşmalar mekânsal olarak örnekleme istasyonları açısından görülmemektedir (Şekil 3.32, Şekil 3.33, Şekil 3.34).



Şekil 3.32. Kış mevsimi baskın zooplankton gruplarının istasyonlara göre oransal dağılımları



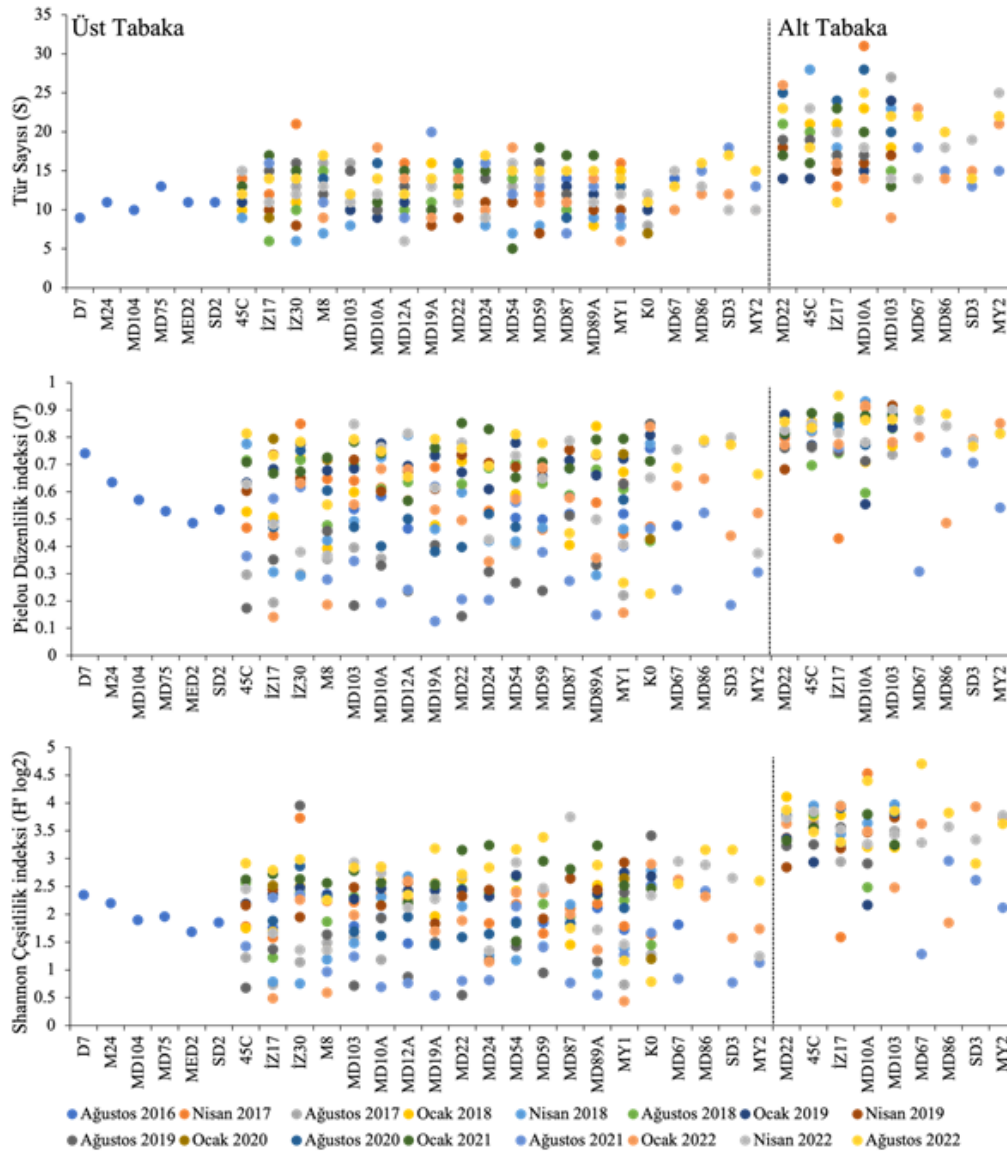
Şekil 3.33. İlkbahar mevsimi baskın zooplankton gruplarının istasyonlara göre oransal dağılımları



Şekil 3.34. Yaz mevsimi baskın zooplankton gruplarının istasyonlara göre oransal dağılımları

Üst tabaka zooplankton komünitesinin tür sayısı (S) ve çeşitlilik indisi (H') değerleri, alt tabaka zooplankton komünitesine göre daha düşüktür. Pielou düzenlilik indeksi ise tabakalar arasında keskin farklılaşmaya sahip olmamasına rağmen, üst tabaka

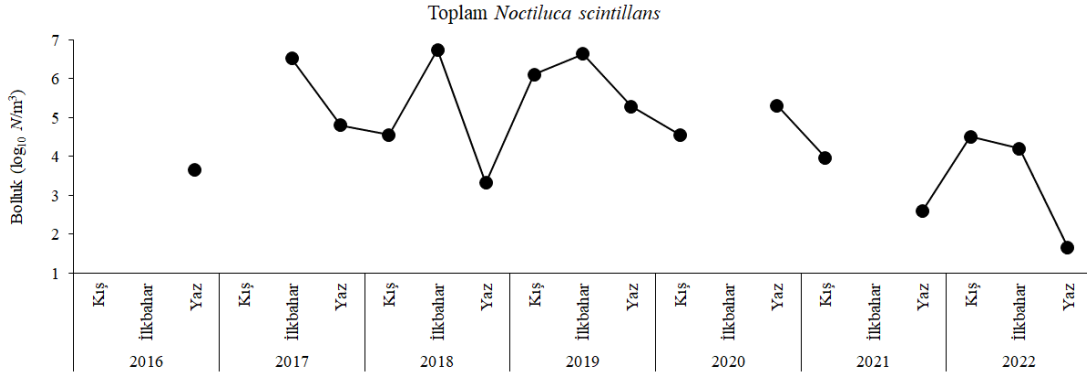
değerleri alt tabakaya göre daha düşüktür. Üst tabakada komünite düzenlilik indeksinin özellikle ilkbahar ve yaz dönemlerinde en düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.35. 2016- 2022 yılları arasında tür sayısı (S), Pielou düzenlilik (J') ve Shannon çeşitlilik ($H' \log_2$) indekslerinin mevsimsel değişimleri ve alansal dağılımı

Heterotrofik dinoflagellat türü olan *Noctiluca scintillans* hücre boyutu sebebiyle zooplankton kepçesi ile etkin biçimde örneklenebildiğinden bu bölümde değerlendirilmektedir. *Noctiluca scintillans*'ın daha önceki yapılmış çalışma sonuçlarına göre Marmara Denizi'nde genel dağılım özelliği, hem yıl boyunca türün izlenmesi hem de iki ana pik dönemine sahip olmasıdır. En yüksek bolluk seviyelerine Nisan ayında, daha düşük ikinci bir artışa ise Kasım ayında ulaştığı bildirilmektedir (Yılmaz, 2005; İşinibilir vd., 2008; Yılmaz, 2015). *N. scintillans*'ın en yüksek bolluk değerleri 2017-2018 ilkbahar, 2019 kış ve ilkbahar

mevsimlerinde kaydedilmiştir. Tür 2019 ilkbahar döneminde ($4404997 N/m^3$) Tekirdağ-Silivri açıkları red-tide olayına sebep olmuştur. 2020 (pandemi) ve 2021 (müsilaj) ilkbahar dönemleri analizler gerçekleştirilemediği için tür izlenememiştir. Müsilajın ortadan kalkmasıyla beraber tür 2021 yaz dönemi itibariyle izlenmeye devam edilmiş ancak 2022 ilkbahar döneminde önceki yıllara kıyasla daha düşük bollukla ($15820 N/m^3$) kaydedilmiştir. Marmara Denizi genelinde dağılım gösteren bu türe 2022 yaz döneminde yalnızca Yalova açıklarında rastlanmıştır (Şekil 3.36).



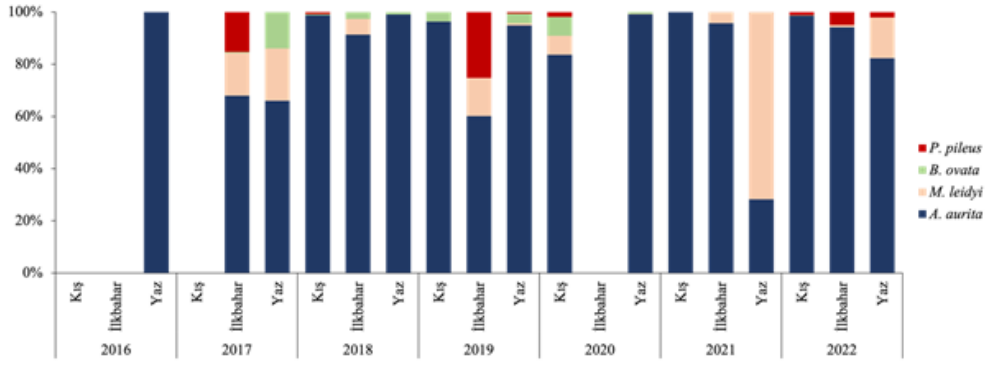
Şekil 3.36. 2016-2022 yılları arasında *N. scintillans* türüne ait bolluk değerlerinin zamansal değişimi

Marmara Denizi baskın medüz türü *Aurelia aurita* olup en yüksek bolluk değerleri 2022 yılı ilkbahar döneminde kaydedilmiştir. Türe bu dönemde en yoğun Çanakkale Boğazı girişinde (MD10A) rastlanmıştır. 2016 yılından bu yana *A. aurita* türünün en yüksek bolluk değerleri İzmit ve Gemlik körfezlerinde ve kuzeybatı bölgesinde kaydedilmiştir. Ktenefor *Pleurobrachia pileus*, 2017-2019 yılları arasında dağılımını ve bolluğunu artırmıştır. *P. pileus*'a 2020 yaz dönemi itibariyle 2021 yılı boyunca hiç rastlanmamış fakat 2022 kış mevsimi itibariyle tüm Marmara Denizi'nde dağılım göstermeye devam etmiştir. Türün 2019 ilkbahar döneminden sonra en yüksek bolluk değeri 2022 ilkbaharda kaydedilmiştir. Geniş dağılıma sahip diğer türler sırasıyla ktenefor *Mnemiopsis leidyi* ve *Beroe ovata* türleridir (Şekil 3.37).

Liriope teraphylla sahip olduğu boy aralığı sebebiyle zooplankton ağı ile

örneklenebilen hidrozoa türüdür. Bu türe Marmara Denizi'nde ilk kez Ekim 2005'de rastlanmıştır ve 2007 yılında yaşanan müsilaj olayına dek Ekim-Aralık dönemlerinde kaydedilmiştir (Yılmaz, 2015). *L. tetraphylla*, 2007 yılından sonra yalnızca 2021 ve 2022 kış mevsimlerinde kaydedilmiştir. 2021 kış mevsiminde batıda orta hatta (MD103) üst tabaka suyunda tespit edilmiştir. 2022 kış döneminde ise üst tabakada yalnızca Çanakkale Boğazı girişinde (MD10A) ve alt tabakada ise istasyonların tümünde örneklenmiştir.

2018 yılından bu yana *Rhizostoma pulmo* türü ilkbahar ve yaz dönemlerin Erdek körfezi ve İstanbul çevresinde gözlenmiştir. Ayrıca 2018 yaz mevsiminde *Cotylorhiza tuberculata* ve 2022 kış mevsiminde ise *Obelia* sp. türleri kaydedilmiştir.

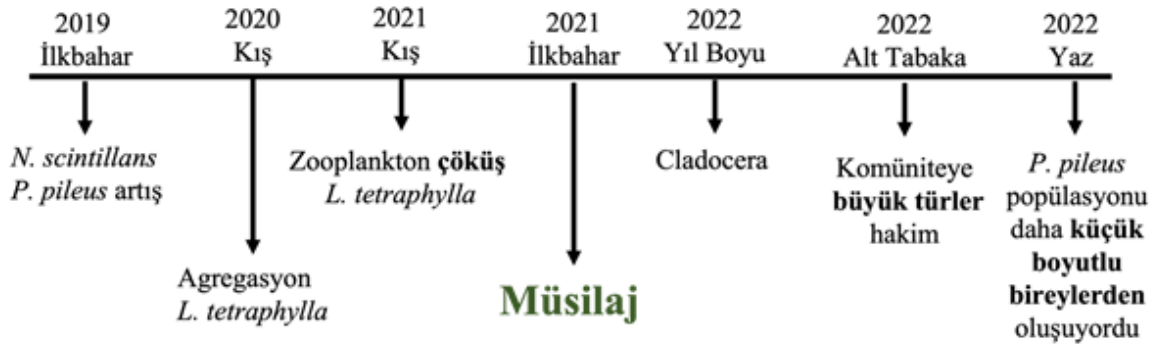


Şekil 3.37. 2016-2022 yılları arasında baskın medüz türlerinin oransal dağılımlarının mevsimsel değişimleri

Zooplankterlerin yaşam döngülerinin oldukça kısa ve üreme stratejilerinin ise çeşitli olması, olumlu veya olumsuz çevresel etkilere oldukça hızlı yanıtlar vermelerini sağlamaktadır (Siokou-Frangou vd., 2004). Bunun yanı sıra yüksek biyokütleyle sahip zooplankton ve aşırı artışlar gösterebilen medüz canlı gruplarının su kolonu boyunca madde taşınım mekanizmasında etkin görevleri vardır (Colin vd., 2005). Denizel ekosistemde, zooplanktonun bolluk ve komünite yapısındaki değişiklikleri, birincil üreticilerden itibaren üst pelajik sistemde yer alan tüm canlı gruplarını etkileyen önemli göstergelerdir. Aynı şekilde, alt ve üst besin gruplarının bolluk, dağılım ve tür kompozisyonlarındaki değişimler zooplankton üzerinde etkilidir (Cushing, 1990; Clark, 1992).

Heterotrofik bir dinoflagellat türü olan *N. scintillans* zooplankton ve yumurtalarıyla beslenen aynı zamanda zooplanktonla besin rekabeti içerisinde olan bir türdür (Yılmaz vd., 2005). *N. scintillans*'ın bolluğunu artırdığı 2017-2019 ilkbahar dönemlerinde zooplankton popülasyonunda düşüşler kaydedilmiştir. En fazla düşüşün görüldüğü 2019 ilkbahar döneminde *N. scintillans* ile aynı anda zooplankton üzerinden beslenen *P. pileus* popülasyonunun da artışı belirlenmiştir. 2019 yazında zooplankton popülasyonu yeniden artışa geçmiş ve komünitede

%88'lik oranla Cladocera baskınlığı belirlenmiştir. 2020 kışında ise üst ve alt tabaka zooplankton örneklerinde yoğun agregasyon tespit edilmiş ve 2007'den bu yana ilk kez *L. tetraphylla* görülmüştür. 2020 yazında ise zooplankton popülasyonu yeniden artış göstermiş ve popülasyonda %71'lik oranla Cladocera baskın olmuştur. 2021 kışında ise zooplankton popülasyonu çökmüş ve *L. tetraphylla* türü dağılımını genişletmiştir. 2021 ilkbahar döneminde ise Marmara Denizi genelinde yoğun müsilaj olayı gözlenmiştir. 2021 yaz mevsiminde müsilajın kalkmasıyla beraber zooplankton su kolonunda yeniden popülasyonunu %89'luk Cladocera baskınlığı ile artırmıştır. Yaşanan müsilaj olayı sonrasında zooplankton komünite kimliğinde değişimler tespit edilmiştir. Bu değişimlerden ilki, üst tabaka zooplankton komünitesinde yıl boyunca Cladocera grubunun baskınlığıdır. 2022 yılı boyunca Cladocera grubunda baskın olan tür önceki dönemlerden farklı olarak daha küçük boylu *Pleopis polyphemoides* olmuştur. Tespit edilen değişimlerden bir diğeri ise alt tabakada baskın Copepoda grubu önceki yıllara kıyasla daha büyük boylu türlerce temsil edilmiştir. Bunların yanı sıra 2022 yaz mevsiminde *N. Scintillans*'ın dağılım alanı daralmış ve *P. pileus* türünün popülasyonunun artmasıyla beraber daha küçük hacimli bireylerce temsil edilmiştir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38. 2016-2022 yılları arasında öne çıkan durumların çizelgesi

Müsilaj olayı Marmara Denizi'nde daha önce Ekim 2007 - Şubat 2008 döneminde yaşanmıştır. Bu dönemde yaşanan müsilaj olayı öncesinde 2005 yılı itibariyle sonbahar mevsimlerinde besin ağına katılan *L. tetraphylla* türünün bolluğu yıllar içerisinde artışa geçmiştir. Bu türün artışı sonrasında zooplankton popülasyonunda çöküşler kaydedilmiş, devamında ise tüm basende etkili olan

yoğun bir müsilaj oluşmuştur (Yılmaz, 2015). Müsilaj olayının kalkmasının ardından zooplankton popülasyonu Cladocera baskınlığı ile geri dönmüştür (Bedikoğlu vd., 2022). Marmara Denizi'nde 2019 ilkbahar dönemi itibariyle zooplankton, *N. scintillans* ve medüz popülasyonlarındaki dalgalanmalar dikkate alındığında iki farklı dönemde yaşanan müsilaj olayları benzerlikler taşımaktadır.

3.5 Deniz Tabanı Habitatları

Bu izleme bileşeninde makro flora, deniz çayırları, makrozoobentos ve demersal balık türleri dikkate alınan canlı grupları olup, deniz tabanının fiziksel ve kimyasal

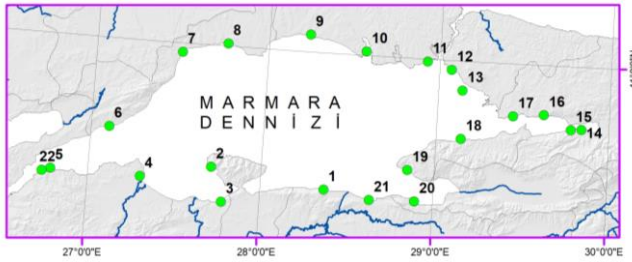
yapısı ile biyotik ve abiyotik habitatlar incelenmekte ve izlenmektedir. DSÇD tanımlayıcıları T1, T6 ile direkt, T2, T3 ve T4 ile de dolaylı olarak ilişkilidir.

3.5.1 Makro Flora

Marmara Denizi kıyılarında üçüncü üç yıllık (2020-2022) izleme çalışmalarında makro flora kıyısız bölgede yaz dönemlerinde (2021) toplam 22 alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.39, EK3).

Makroflora tür çeşitliliği yıllara göre değerlendirildiğinde; 2014 yılında 87 takson, 2015 yılında 97 takson, 2016 yılında 94 takson, 2017 yılında 95 takson, 2018 yılında 94 takson, 2019 yılında 98 takson ve 2021 yılında ise 110 takson tespit edilmiştir. Bunların farklı sınıf/filum ve yıllara göre değişimleri Tablo 3.4’de

verilmiştir. Ekolojik Değerlendirme İndeksi (EEI) ile yapılan değerlendirme için makrofitler öncelikle ESG I (hassas türler) ve ESG II (fırsatçı türler) olmak üzere Ekolojik Durum Gruplarına ayrılmış ve oluşturdıkları % örtü değerleriyle (Orfanidis vd., 2011) EEI-c değeri bulunmuştur. Çalışma istasyonlarının 2021 yılındaki ESG I ve ESG II takson sayısı dağılımları Şekil 3.40’da yer almaktadır. Sonrasında da SÇD’ye yönelik Ekolojik Kalite Oranı EEI_{EQR} bulunmuş ve Ekolojik Durum Sınıfları (EDS) tespit edilmiştir (Tablo 3.5).



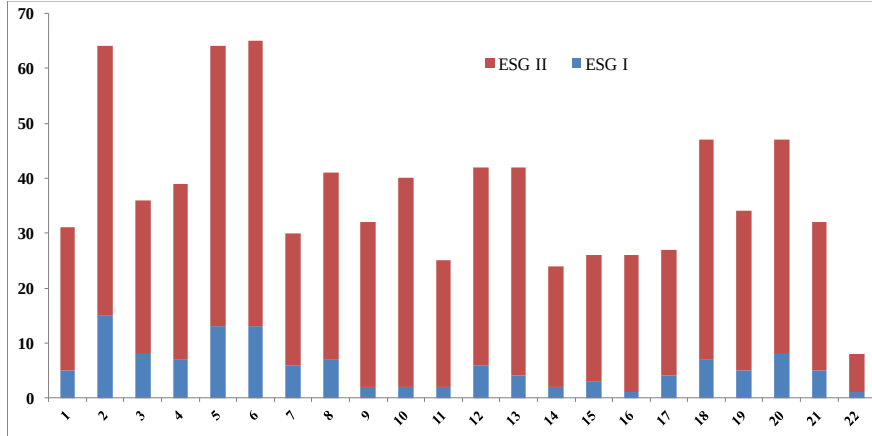
Şekil 3.39. Marmara Denizi makroflora istasyonları

(1: Susurluk Ağızı, 2:Kapıdağ, 3: Edincik, 4: Karabiga, 5: Lapseki, 6: Şarköy, 7: Tekirdağ, 8: Marmara Ereğlisi-Batı, 9: Silivri, 10: Büyükçekmece, 11: Yenikapı, 12: Kadıköy, 13: Adalar (İstanbul), 14: Kavaklıdere, 15: Değirmendere, 16: Hereke, 17: Eskihisar, 18: Çınarcık, 19:Mudanya, 20: Armutlu, 21: Susurluk-Dogu, 22: Çardak)

İstasyonlarda Ekolojik Değerlendirme İndeksi - (EEI) ile ortamın ekolojik durumunun belirlenebilmesi için 0-3 m derinlik aralığından doğrudan elle ya da maske-şnorkel ile serbest dalış yapılarak 20x20 cm’lik kuadrat ile 3 tekrarlı makroflora örneklemeleri yapılmış, tür dağılımları ve % örtü durumu saptanmıştır. Gerekli durumlarda kıydan açığa doğru (20-30 m) habitatlar gözlemlenmiş ve yayılımları raporlanmıştır.

Tablo 3.4. 2014-2022 izleme döneminde saptanan makroflora takson sayıları

Sınıf/Filum	Marmara Denizi						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2021
Phaeophyceae	19	22	21	17	17	17	16
Rhodophyta	44	48	45	50	48	52	63
Chlorophyta	23	26	26	26	27	27	28
Spermatophyta	1	1	2	2	2	2	3
Toplam Takson Sayısı	87	97	94	95	94	98	110



ESG I: Hassas gruplar

ESG II: Oportunistik, kirliliğe toleranslı gruplar

Şekil 3.40. Marmara Denizi istasyonlarının 2021 yılı ESG I ve ESG II gruplarının takson sayıları

(1: Susurluk Ağızı, 2:Kapıdağ, 3: Edincik-Enerji-SA, 4: Karabiga, 5: Lapseki, 6: Şarköy, 7: Tekirdağ, 8: Marmara Ereğlisi-Batı, 9: Silivri, 10: Büyükçekmece, 11: Yenikapı, 12: Kadıköy, 13: Adalar (İstanbul), 14: Kavaklıdere, 15: Değirmendere, 16: Hereke, 17: Eskişehir-MAM, 18: Çınarcık, 19:Mudanya, 20: Armutlu, 21: Susurluk-Doğu, 22: Çardak)

Tablo 3.5. 2014-2022 izleme döneminde makro flora çalışma istasyonlarının “Ekolojik kalite İndeksi: EEI” ile yapılan kalite sınıflandırması (K:Kötü, Z:Zayıf, O:Orta, İ:İyi, Çİ:Çok İyi)

İstasyon	2014 EEI-c			2015 EEI-c			2016 EEI-c			2017 EEI-c			2018 EEI-c			2019 EEI-c			2021 EEI-c		
	EEI	EQR	EDS	EEI	EQR	EDS	EEI	EQR	EDS	EEI	EQR	EDS	EEI	EQR	EDS	EEI	EQR	EDS	EEI	EQR	EDS
Susurluk Ağızı	te	te		0,18		Z	0,13		Z	0,16		Z	0,27		O	0,39		O	0,25		O
Bandırma	0,11		Z	0,27		O	0,3		O	0,37		O	0,41		O	te	te		te	te	
Kapıdağ	te	te		0,7		İ	0,73		İ	0,72		İ	te	te		0,83		Çİ	0,63		İ
Edincik	te	te		0,6		İ	0,55		İ	0,58		İ	te	te		te	te		te	te	
Şarköy	0,73		İ	0,75		Çİ	0,83		Çİ	0,8		Çİ	0,85		Çİ	0,74		İ	0,55		İ
Tekirdağ	0,34		O	0,63		İ	0,66		İ	0,68		İ	0,66		İ	0,54		İ	0,50		İ
Marmara Ereğlisi	te	te		0,54		İ	0,53		İ	0,63		İ	te	te		te	te		te	te	
Küçükçekmece	0,1		Z	0,12		Z	0,1		Z	0,13		Z	te	te		te	te		te	te	
Tuzla	0,06		K	0,1		Z	0,21		Z	0,25		O	0,33		O	te	te		te	te	
Kavaklıdere	0,13		Z	0,19		Z	0,21		Z	0,2		Z	0,18		Z	0,19		Z	0,22		Z
Kaytazdere	0,3		O	0,35		O	0,31		O	0,26		O	te	te		te	te		te	te	
Hereke	0,02		K	0,04		K	0		K	0		K	0		K	0		K	0,14		Z
Yalova	0,27		O	0,31		O	0,34		O	0,4		O	te	te		te	te		te	te	
Armutlu	te	te		0,53		İ	0,58		İ	0,56		İ	te	te		0,49		O	0,45		O
Gemlik	0,02		K	0,1		Z	0,06		Z	0,08		Z	te	te		te	te		te	te	
Yenikapı	0,16		Z	te	te		te	te		te	te		0,24		Z	0,09		Z	0,19		Z
Silivri	0,08		Z	te	te		te	te		te	te		0,16		Z	0,2		Z	0,18		Z
Karabiga	0,25		O	te	te		te	te		te	te		0,56		İ	0,54		İ	0,55		İ
Edincik	te	te		te	te		te	te		te	te		0,62		İ	0,59		İ	0,53		İ
Lapseki	te	te		te	te		te	te		te	te		0,82		Çİ	0,78		Çİ	0,82		Çİ
M. Ereğlisi-Batı	te	te		te	te		te	te		te	te		0,5		İ	0,56		İ	0,49		İ
B.Çekmece	te	te		te	te		te	te		te	te		0,1		Z	0,05		Z	0,11		Z
Kadıköy	te	te		te	te		te	te		te	te		0,2		Z	0,37		O	0,31		O

İstasyon	2014 EEI-c		2015 EEI-c		2016 EEI-c		2017 EEI-c		2018 EEI-c		2019 EEI-c		2021 EEI-c	
Değirmendere	te	te	te	te	te	te	te	te	0,3	O	0,22	Z	0,06	Z
Eskihisar	te	te	te	te	te	te	te	te	0,29	O	0,18	Z	0,16	Z
Çınarcık	te	te	te	te	te	te	te	te	0,41	O	0,37	O	0,43	O
Mudanya	te	te	te	te	te	te	te	te	0,6	İ	0,51	İ	0,39	O
Susurluk Doğu	te	te	te	te	te	te	te	te	0,33	O	0,42	O	0,44	O
Adalar-İstanbul	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	0,4	O	0,43	O
Çardak	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	te	0,58	İ

te: test edilmedi

Marmara Denizi’nde 2014 yılı makroflora (makroalg ve angiosperm) izleme çalışmasında Ekolojik Değerlendirme İndeksine göre (EEI-c) ile yapılan değerlendirme sonucunda 14 istasyondan; Silivri, Gemlik, Hereke ve Tuzla “kötü”, Yenikapı, Küçükçekmece, Bandırma ve Kavaklıdere “zayıf”, Tekirdağ, Gelibolu, Karabiga, Yalova ve Kaytazdere, “orta”, Şarköy ise “iyi” ekolojik durum sınıfında oldukları rapor edilmiştir. Bu dönemde “çok iyi” ekolojik durum sınıfında ise herhangi bir istasyon tespit edilmemiştir. 2015 yılında Şarköy “çok iyi” ekolojik durum sınıfında, Kapıdağ, Edincik, Marmara Ereğlisi, Tekirdağ ve Armutlu “iyi”, Bandırma, Yalova ve Kaytazdere, “orta”, Susurluk Ağzı (Boğaz), Küçükçekmece, Tuzla, Kavaklıdere, Gemlik “zayıf”, Hereke “kötü” bir ekolojik durum sınıfında belirlenmiştir. 2016 yılında Şarköy “çok iyi”, Kapıdağ, Edincik, Tekirdağ, Marmara Ereğlisi ve Armutlu “iyi”, Bandırma, Kaytazdere ve Yalova “orta”, Susurluk Ağzı (Boğaz), Küçükçekmece, Tuzla, Kavaklıdere, Gemlik “zayıf” ve Hereke istasyonu ise “kötü” bir ekolojik durum ile sınıflandırılmıştır.

2017 yılında Ekolojik Değerlendirme İndeksine (EEI-c) ile yapılan çalışmada Şarköy “çok iyi”, Kapıdağ, Edincik, Tekirdağ, Marmara Ereğlisi ve Armutlu “iyi”, Bandırma, Tuzla, Kaytazdere ve Yalova “orta”, Susurluk Ağzı (Boğaz), Küçükçekmece, Tuzla, Kavaklıdere, Gemlik “zayıf” ve Hereke istasyonu ise

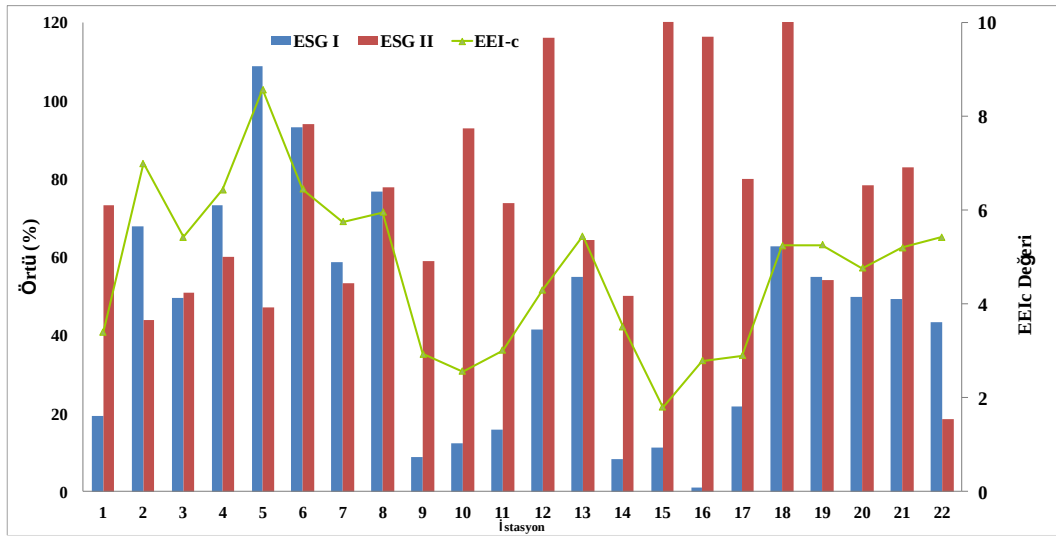
“kötü” ekolojik durum sınıfında bulunmuştur. 2018 yılında Şarköy ve Lapseki “çok iyi”, Edincik-EnerjiSA, Karabiga, Tekirdağ, Marmara Ereğlisi ve Mudanya “iyi”, Susurluk Ağzı, Bandırma, Tuzla, Değirmendere, Eskihisar, Çınarcık ve Susurluk-Doğu “orta”, Silivri, Büyükçekmece, Yenikapı, Kadıköy, Kavaklıdere “zayıf” ve Hereke istasyonu “kötü” bir ekolojik durum ile sınıflandırılmıştır.

2019 yılında, ESG I örtü yüzdesi en fazla Şarköy, Kapıdağ ve Lapseki istasyonlarında (>% 70) belirlenirken, Tekirdağ, Armutlu, Karabiga, Edincik Enerji-SA, Marmara Ereğlisi-Batı, Mudanya ve Adalar-istanbul istasyonlarında %50-70 arasında değişmiştir. Hereke ve Büyükçekmece istasyonlarında ise 2019 yılında ESG I grubu sırasıyla % 0.67 ve %3 olarak bulunmuştur. ESG II örtü yüzdesi son üç yıllık dönemde de (2017-2019) en fazla Hereke istasyonunda bulunurken (ESG II örtüsü % 73.64), diğer istasyonlarda ise %30-60 arasında bulunmuştur. 2019 yılına ait bu izleme çalışmasında 2 istasyon (Kapıdağ ve Lapseki) “çok iyi” ekolojik durum sınıfında, 6 istasyon (Şarköy, Edincik-EnerjiSA, Karabiga, Tekirdağ, Marmara Ereğlisi ve Mudanya) “iyi”, 6 istasyon (Susurluk Ağzı, Adalar, Kadıköy, Armutlu, Çınarcık ve Susurluk-Doğu) “orta”, 6 istasyon (Silivri, Büyükçekmece, Yenikapı, Eskihisar, Değirmendere, Kavaklıdere) “zayıf” ve Hereke istasyonu

ise “kötü” ekolojik durum sınıfında belirlenmiştir.

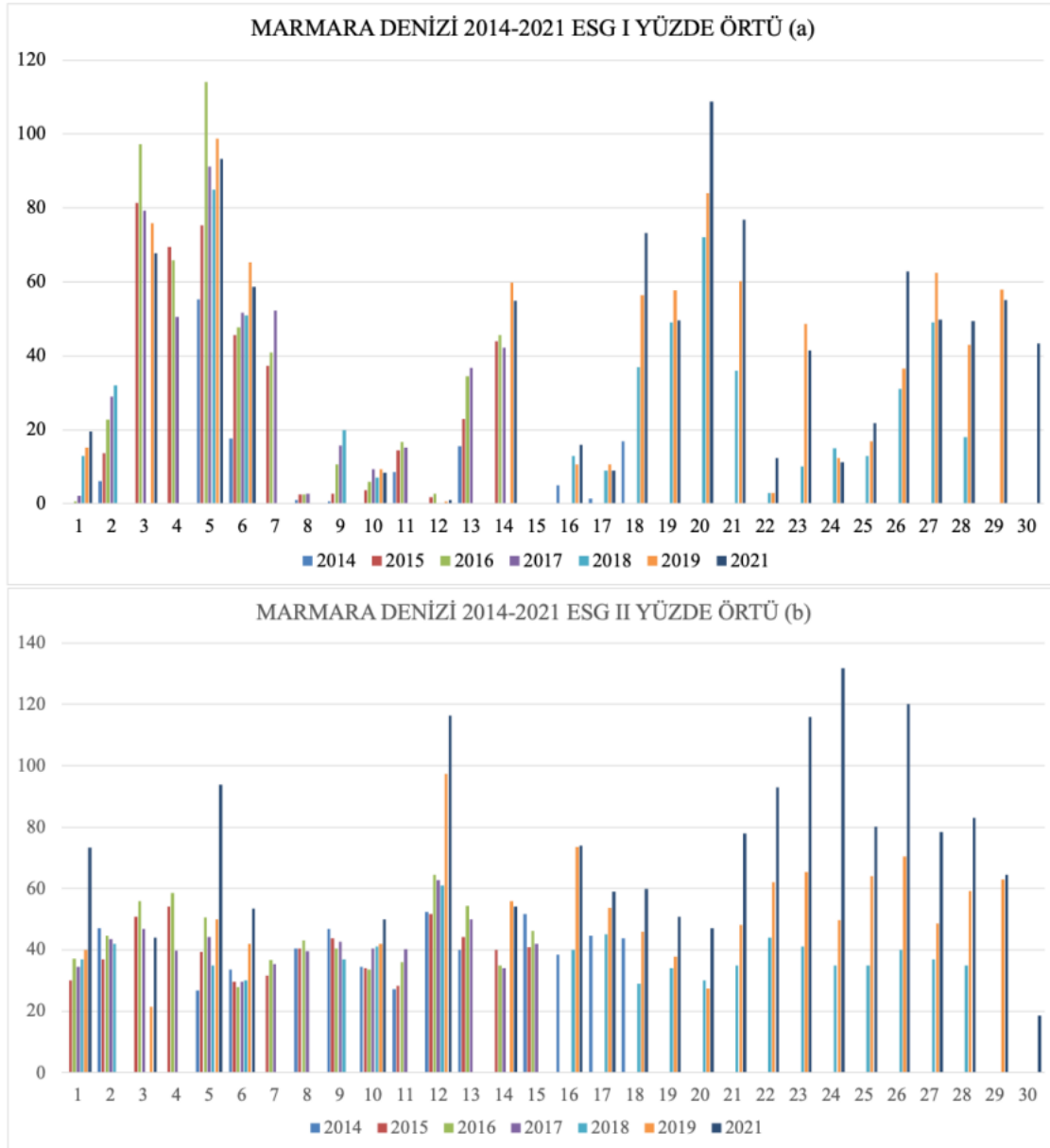
2021 yılında, ESG I örtü yüzdesi (Orfanidis vd., 2011; DİSSP, 2017) en fazla Karabiga, Şarköy, Marmara Ereğlisi-Batı, ve Lapseki istasyonlarında (>% 70) belirlenirken, Kapıdağ, Tekirdağ, Armutlu, Edincik Enerji-SA, Çınarcık ve Adalar-İstanbul istasyonlarında %50-70 arasında değişmiştir. Hereke ve Kavaklıdere istasyonlarında ise 2021 yılında ESG I grubu sırasıyla % 1 ve % 8,33 olarak bulunmuştur. ESG II örtü yüzdesi son üç yıllık dönemde de (2020-2022) en fazla sırasıyla Değirmendere (ESG II örtüsü % 131,75), Hereke (ESG II örtüsü % 116,37) ve Kadıköy (ESG II örtüsü % 115,95) istasyonlarında bulunmuştur (Şekil 3.41, Şekil 3.42). 2021 yılı izleme çalışmasında Ekolojik Değerlendirme İndeksi (EEI) ile yapılan değerlendirme sonucunda istasyonlardan 1 tanesinin “çok iyi” (Lapseki-MDMA05), 7 istasyonun (Kapıdağ-MDMA02, Edincik EnerjiSA-

MDMA03, Karabiga-MDMA04, Şarköy-MDMA06, Tekirdağ-MDMA07, Marmara Ereğlisi-MDMA08 ve Çardak-MDMA22) “iyi”, 7 istasyonun (Susurluk Ağzı-MDMA01, Kadıköy-MDMA12, Adalar-MDMA13, Çınarcık-MDMA18, Armutlu-MDMA19, Mudanya-MDMA20 ve Susurluk Doğu-MDMA21) “orta”, 7 istasyonun (Silivri-MDMA09, Büyükçekmece-MDMA10, Yenikapı-MDMA11, Kavaklıdere-MDMA14, Değirmendere-MDMA15, Hereke-MDMA16, Eskişehir MAM-MDMA17) ise “zayıf” ekolojik durum sınıfında oldukları tespit edilmiştir. Zayıf ve orta ekolojik durum sınıfında olan toplam 14 istasyonun (7 zayıf, 7 orta) Yönetim Hedefi “Restorasyon”, iyi ve çok iyi ekolojik durum sınıfında olan 8 istasyonun ise Yönetim Hedefi “Sürdürülebilir” olması gerekmektedir.



Şekil 3.41. 2021 yılı Marmara denizi istasyonlarının ESG I ve ESG II türlerinin ortalama örtü değerleri (%) olarak ile EEI-c değerleri

(1: Susurluk Ağzı, 2:Kapıdağ, 3: Edincik-Enerji-SA, 4: Karabiga, 5: Lapseki, 6: Şarköy, 7: Tekirdağ, 8: Marmara Ereğlisi-Batı, 9: Silivri, 10: Büyükçekmece, 11: Yenikapı, 12: Kadıköy, 13: Adalar (İstanbul), 14: Kavaklıdere, 15: Değirmendere, 16: Hereke, 17: Eskişehir-MAM, 18: Çınarcık, 19:Mudanya, 20: Armutlu, 21: Susurluk-Doğu, 22: Çardak)



Şekil 3.42. Marmara Denizi makro flora istasyonları 2014-2022 ESG I ve ESG II % örtü değişimleri
(1: Susurluk Ağız; 2: Bandırma; 3: Kapıdağ; 4:Edincik; 5:Şarköy; 6:Tekirdağ; 7:Marmara Ereğlisi; 8:Küçükçekmece; 9:Tuzla; 10:Kavaklıdere; 11:Kaytazdere; 12:Hereke; 13:Yalova; 14:Armutlu; 15:Gemlik; 16:Yenikapı; 17:Silivri; 18:Karabiga; 19:Edincik-Enerji-SA; 20:Lapseki; 21:M. Ereğlisi-Batı; 22:B.Çekmece; 23:Kadıköy; 24:Değirmendere; 25:Eskihisar-MAM; 26:Çınarcık; 27:Mudanya; 28:Susurluk Doğu; 29:Adalar; 30: Çardak)

Marmara Denizi makroflorasının egzotik türler, koruma altındaki türler ve tehdit oluşturan türler açısından değerlendirilmesi

Çınar ve ark. (2021) tarafından Marmara Denizi kıyılarında 28 yabancı tür rapor edilmiştir: 11 kahverengi alg (*Botrytella parva*, *Cladosiphon zosterae*, *Chorda filum*, *Colpomenia peregrina*, *Cutleria multifida*, *Halothrix lumbricalis*, *Microspongium globosum*, *Pylaiella littoralis*, *Sphaerotrichia firma*, *Scytosiphon dotyi*, *Ulonema rhizophorum*),

15 kırmızı alg [*Asparagopsis armata*, *Asparagopsis taxiformis*, *Acanthophora najadiiformis*, *Ganonema farinosum*, *Trailiella intricata* (*Bonnemasoinia hamifera*'nın evresi), *Chondria collinsiana*, *Colaconema codicola*, *Griffithsia corallinoides*, *Polysiphonia kampsaxii*, *Polysiphonia morrowii*, *Rhodophysema georgii*, *Vertebrata*

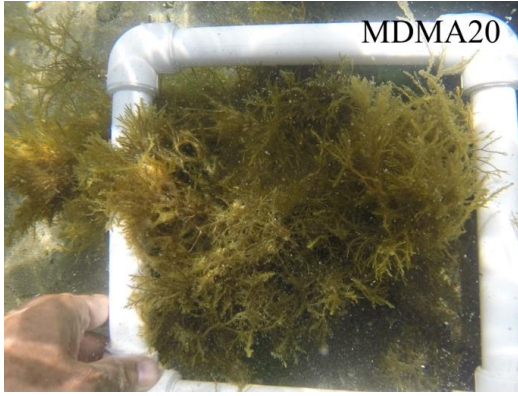
fucooides, *Antithamnion hubbsii*, *Grateloupia turuturu*, *Ceramium camouii*], 2 yeşil alg [*Codium fragile* subsp. *fragile*, *Ulva australis*].

2021 yılı izleme çalışmasında 7 yabancı ve yayılımcı makroalg türü tespit edilmiştir: kırmızı algler *Colaonema codicola*, *Falkenbergia rufolanosa* (*Asparagopsis armata* türünün tetrasporofit evresi), *Grateloupia turuturu*, *Polysiphonia morrowii*, *Trailliella intricata* (*Bonnemasoinia hamifera*'nın tetrasporofit evresi) ve *Vertebrata fucooides* ile yeşil alg *Codium fragile* subsp. *fragile*. Yabancı türlerin Akdeniz ve Türkiye kıyılarına koridor (Süveyş Kanalı, Cebelitarık Boğazı), gemicilik, akuakültür, akvaryum gibi yollarla girişi olmaktadır. Marmara Denizi'nde bulunan yabancı türler genelde gemicilik faaliyetleri ile giriş yaptığı görülmektedir. Bunun yanı sıra son yıllarda da küresel ısınma ve iklim değişikliği de bu türlerin yerleşmesine katkı sağlamaktadır. Bazı yabancı türler (*Caulerpa cylindracea*, *Codium fragile* subsp. *fragile*, *Asparagopsis* spp.) yayılımcı bir davranış göstererek yerli türlerin (deniz çayırları gibi) boşalttığı yerlere yerleşmektedir.

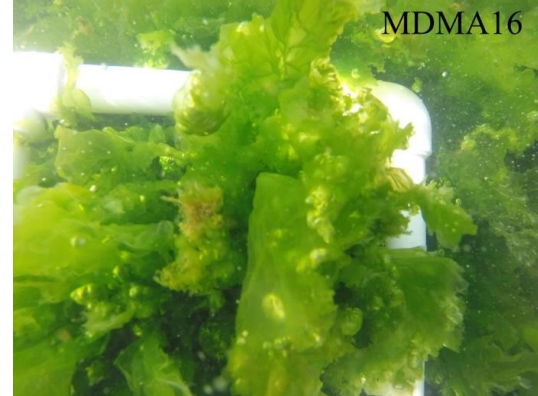
Marmara Denizi'nde koruma altında ve korunması gerekli olan türler özellikle *Cystoseira s.l.* türleri (*Cystoseira compressa*, *C. montagnei* var. *compressa*, *Ericaria crinita* ve *Gongolaria barbata*) ile denizel çiçekli bitkilerden *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* ve *Zostera* (*Z. marina* ve *Z. noltei*) türleridir. Hassas ve koruma altında olan türler, Marmara Denizi'nin özellikle Lapseki (MDMA05), Şarköy (MDMA06), Karabiga (MDMA04), Kapıdağ (MDMA02), Edincik-EnerjiSA (MDMA03), M.Ereğlisi, (MDMA08) gibi orta ve batı bölümlerindeki istasyonlarda daha çok yayılış göstermektedirler. Barselona Sözleşmesi gibi uluslararası antlaşmalarla

koruma altında olan deniz çayırı *Posidonia oceanica* türünün de Marmara Denizi'nde Narlı (Erdek) ve Paşalimanı Adası civarında yayılışı bilinmektedir (Taşkın ve ark., 2008; Taşkın, 2018). 2018-2021 yıllarında gerçekleştirilen *Posidonia oceanica* izleme çalışması kapsamında bu türün Marmara Denizi yayılışı tekrar gözlenmiştir. Kahverengi alg *Cystoseira montagnei* var. *compressa* türü özellikle Kadıköy (MDMA12) ile Armutlu (MDMA19) istasyonlarında bulunmuştur. *Gongolaria barbata* türü geçmiş yıllarda olduğu gibi birçok istasyonda bulunmuştur ancak Mudanya (MDMA20) istasyonu gibi bazı istasyonlarda tallusun boyu oldukça küçük ve yeni gelişmekte olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.43). 2021 yılı Marmara Denizi'nde müsilaj oluşumu sonrası bu durumun gerçekleştiği düşünülmektedir.

2021 yılı izleme çalışmasının örnekleme müsilaj oluşumu sonrası gerçekleştirilmiş olup karasal baskının fazla görüldüğü istasyonlarda ve hatta orta/iyi ekolojik durum sınıfında olan bazı istasyonlarda yeşil alglerden *Ulva* ve *Cladophora* türleri ile kırmızı alglerden *Ceramiales* ordosunun ipliksi talluslu türlerinin yanı sıra mediolittoral zondaki taşlar üzerinde tabakalaşma gösteren mavi yeşil algler (*Cyanophyceae*) türlerinin bolluğu ve aşırı çoğalmasının ortamın ekolojik durumunu olumsuz yönde etkilediği yapılan EEI-c hesaplamaları ile tespit edilmiştir. Yeşil algler *Ulva compressa*, *Ulva rigida*, *Ulva linza* ve *Cladophora* spp. ile kırmızı alglerden *Ceramium* spp., *Polysiphonia* spp. Marmara Denizi istasyonlarının genelinde yaygındır (Şekil 3.39). Yabancı ve yayılımcı türlerden olan yeşil alg *Codium fragile* subsp. *fragile* ve kırmızı alg *Grateloupia turuturu* hızla yayılış göstermekte olup Marmara Denizi'nde aynı zamanda toleranslı ve fırsatçı olan bu türler özellikle dönemsel olarak artış gösterebilmektedir.



Şekil 3.43 *Gongolaria barbata* (Mudanya)

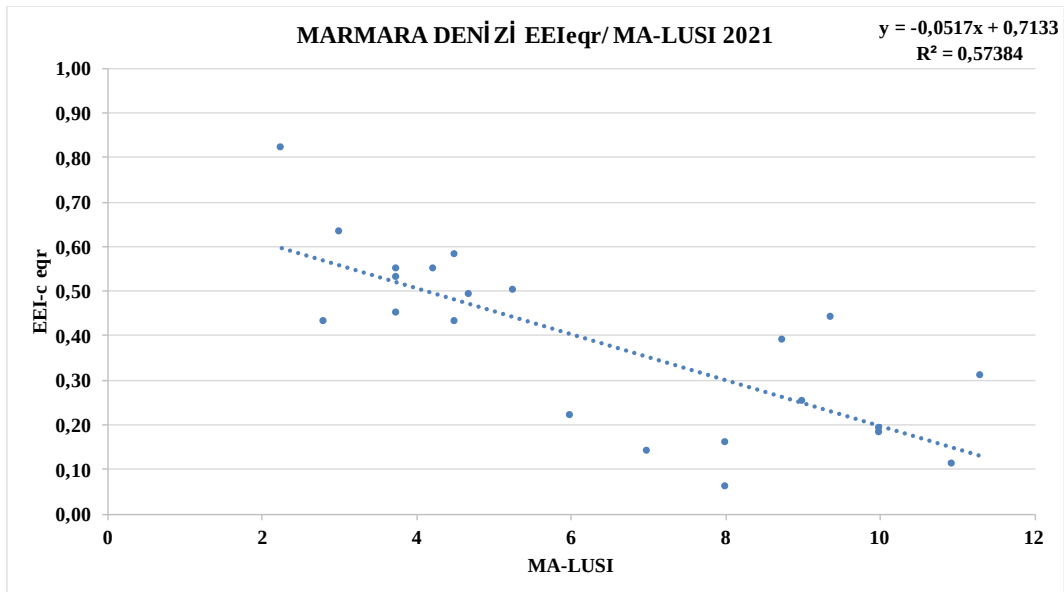


Şekil 3.44 Toleranslı yeşil alg *Ulva rigida* (Hereke)

MA-LUSİ Değerlendirmesi

MA-LUSİ, LUSİ indeksi gibi sadece baskıyı değil, makroalg komüniteleri üzerine etkili marikültür, kanalizasyon deşarjı, liman ya da düzensiz tatlısu girişleri gibi diğer bazı baskıları da içermekte olup özellikle sığ sulardaki makroalg komüniteleri için kullanılabilir (Flo vd., 2011, 2019; MEDGIG, EC 2013). MA-LUSİ indeksi marikültür, sediman besin maddesi girişi, şehirleşme, ticaret ve endüstri, tarım, düzensiz tatlısu girişi, liman, geçmiş trofik durum gibi baskı-etkileri içermekte olup her kategorinin bir puantajı vardır ve buradan hesaplama gerçekleştirilmektedir. 2017-2022 yılları arasındaki izleme

çalışmalarında her bir örnekleme istasyonunun MA-LUSİ değeri hesaplanmış, elde edilen değerlerin etki indeksi (EEI-c) ile ilişkisi test edilmiştir. 2021 yılında baskı indeksi (MA-LUSİ) ve etki indeksi (EEI-c) arasındaki değerlendirme sonucunda diğer dönemlerdeki gibi negatif lineer bir ilişki ($R^2:0,573$) bulunmuştur (Şekil 3.41). MA-LUSİ değeri en yüksek sırasıyla Kadıköy istasyonunda (11.30) bulunmuş olup bu istasyonu Büyükçekmece (10.93), Gemlik, Yenikapı, Silivri (10.00) takip etmiştir. Diğer istasyonların MA-LUSİ değerleri ise genelde 2.8-9.3 aralığındadır.



Şekil 3.45. Marmara Denizi istasyonlarının MA-LUSİ ve EEI-c değerlerinin ilişkisi.

Marine Floristic Ecological Index (MARFEI), Marmara Denizi için Taşkın vd. (2018) tarafından Marmara Denizi için geliştirilmiş olup üst-infralittoral bölgedeki makroflora tür çeşitliliği temel alınarak yapılmaktadır. Makroflora (makroalgler ve angiospermiler) üst-infralittoralden genelde 5 m derinliğine kadar belirlenen noktanın sağ-sol bölümlerinin 100 m uzaklığına kadar doğrudan elle ya da maske-şnorkel ile yapılmaktadır. Gerekğinde aletli dalış ile örnekleme de yapılabilmektedir. Bu biyotik indekste denizel makroflora türleri Orfanidis ve ark. (2011) tarafından Ekolojik Değerlendirme İndeksi (EEI) için temel alınan ekolojik gruplar Ekolojik Durum Grubu (EDG) kullanılarak Marmara Denizi için revize edilmiştir. Türler önce, hassas olanlar Ekolojik Durum Grubu I (EDG I) ve bu da EDG IA, EDG IB ve EDG IC olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. İkinci gruptaki fırsatçı türler ise Ekolojik Durum Grubu II (EDG II) altında EDG IIA ve EDG IIB olarak gruplandırılmıştır.

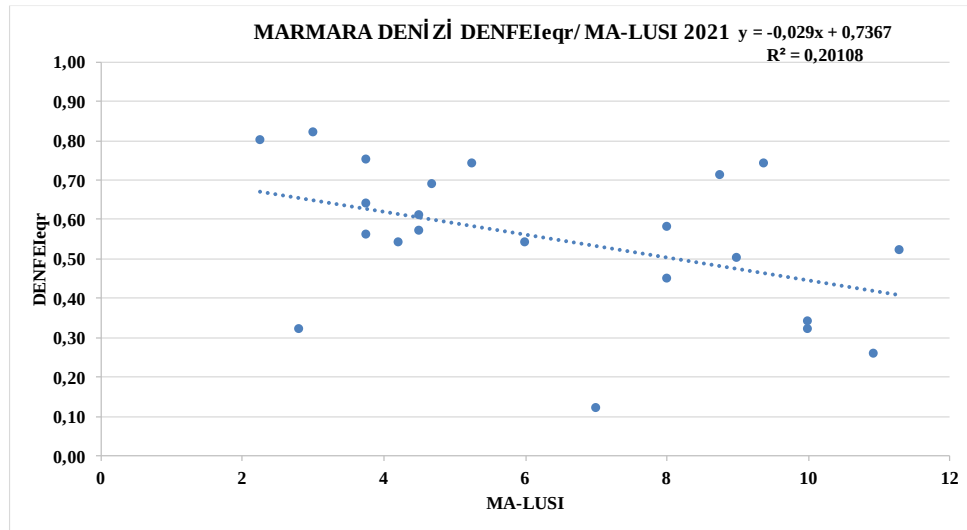
MARFEI ile Marmara Denizi istasyonlarında 2017 yılında yapılan genel değerlendirmede, Şarköy, Kapıdağ, Edincik “iyi”, Bandırma, Tekirdağ, Marmara Ereğlisi, Yalova ve Armutlu “orta”, Susurluk Ağzı, Tuzla, Kavaklıdere ve Kaytazdere “zayıf”, Küçükçekmece, Hereke ve Gemlik “kötü” ekolojik kalite sınıfında tespit edilmiştir. 2018 yılında Şarköy, Lapseki, Marmara Ereğlisi “iyi”, Bandırma, Edincik, Karabiga, Tekirdağ,

Yenikapı, Tuzla, Kavaklıdere, Değirmendere, Eskişehir, Çınarcık, Mudanya ve Susurluk Doğu “orta”, Susurluk Ağzı, Silivri ve Kadıköy “zayıf”, Büyükçekmece ve Hereke “kötü” ekolojik kalite sınıfında oldukları belirlenmiştir. 2019 yılında Kapıdağ, Şarköy “çok iyi”, Edincik, Karabiga, Lapseki, Marmara Ereğlisi, Susurluk Doğu “iyi”, Tekirdağ, Susurluk Ağzı, Kadıköy, Kavaklıdere, Adalar, Eskişehir, Çınarcık, Mudanya, Armutlu “orta”, Yenikapı, Değirmendere, Silivri “zayıf”, Büyükçekmece ve Hereke “kötü” kalite sınıfında tespit edilmiştir. 2019 yılında baskı indeksi (MA-LUSI) ve etki indeksi (EEI-c) arasındaki değerlendirme sonucunda diğer dönemlerdeki gibi negatif lineer bir ilişki bulunmuştur.

MARFEI ile Marmara Denizi istasyonlarında 2021 yılında yapılan genel değerlendirmede (Tablo 3.6), MDMA02, MDMA05 “çok iyi”, MDMA03, MDMA04, MDMA07, MDMA08, MDMA20, MDMA21, MDMA22 “iyi”, MDMA01, MDMA06, MDMA12, MDMA14, MDMA15, MDMA17, MDMA18, MDMA19 “orta”, MDMA09, MDMA10, MDMA11. 2021 yılında baskı indeksi (MA-LUSI) ve etki indeksi (MARFEI) arasındaki değerlendirme sonucunda diğer dönemlerdeki gibi negatif lineer bir ilişki bulunmuştur (Şekil 3.42).

Tablo 3.6. Marmara Denizi 2021 izleme yılına ait MARFEI değerlendirme sonuçları

S. No	İstasyon Kodu	İstasyon Adı	MARFEİeqr
1	MDMA01	Susurluk Ağızı, Boğaz	0,50
2	MDMA02	Kapıdağ	0,82
3	MDMA03	Edincik-Enerji-SA	0,75
4	MDMA04	Karabiga	0,64
5	MDMA05	Lapseki	0,80
6	MDMA06	Şarköy	0,54
7	MDMA07	Tekirdağ	0,74
8	MDMA08	M. Ereğlisi-Batı	0,69
9	MDMA09	Silivri	0,34
10	MDMA10	Büyükçekmece	0,26
11	MDMA11	Yenikapı	0,32
12	MDMA12	Kadıköy	0,52
13	MDMA13	Adalar	0,32
14	MDMA14	Kavaklıdere	0,54
15	MDMA15	Değirmendere	0,45
16	MDMA16	Hereke	0,12
17	MDMA17	Eskihisar-MAM	0,58
18	MDMA18	Çınarcık	0,57
19	MDMA19	Armutlu	0,56
20	MDMA20	Mudanya	0,71
21	MDMA21	Susurluk Doğu	0,74
22	MDMA22	Çardak	0,61



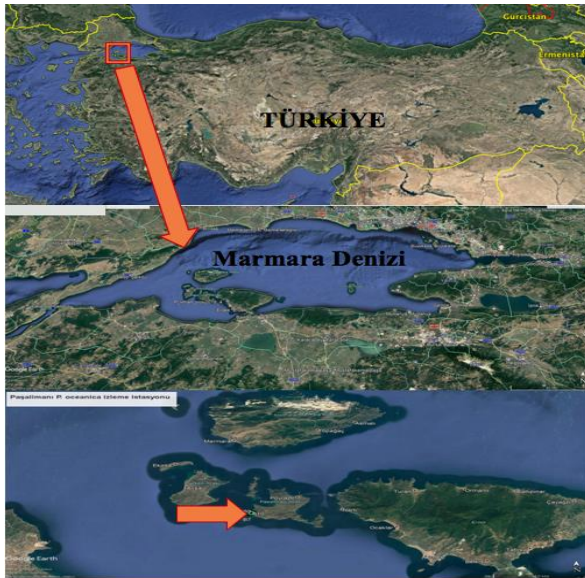
Şekil 3.46. Marmara Denizi istasyonlarının MA-LUSİ ve MARFEI değerlerinin ilişkisi.

3.5.2 Posidonia oceanica izleme istasyonlarının kurulumu ve izleme çalışmaları

Koruma altında bir tür ve Akdeniz endemiği olan *Posidonia oceanica*, kökleri ile deniz içindeki erozyona engel olması, dipte gerçekleştirdiği fotosentez ile denizel ortamın oksijen kaynağı teşkil etmesi, balık ve diğer deniz canlılarının barınmasına, beslenmesine ve üremesine ortam oluşturması, besin zincirinin ilk halkasını oluşturması nedeniyle denizde ekonomik ve ekolojik olarak çok önemlidir (Boudouresque ve Meinesz 1982, Cirik ve Cirik, 1999). Karadaki ormanlara eşdeğer fonksiyonu olan *Posidonia oceanica* denizdeki hayatın kaynağını oluşturur ve takip edilmesi aynı zamanda iklim değişikliği etkilerinin ve karasal baskılarının etkilerinin belirlenmesi açısından da önemlidir.

DEN-İZ Programı kapsamında, Marmara Denizi kıyılarında ilk defa 2018 yılında izleme çalışmaları başlamıştır. Paşalimanı

Adası'nda 6 m derinlikte *Posidonia oceanica* izleme istasyonu kurulumu gerçekleştirilmiş olup 2019,2020,2021 ve 2022 yıllarında da izleme çalışması yapılmıştır (Şekil 3.47, Şekil 3.48, Şekil 3.49 ve Şekil 3.50). Kurulum ve izleme yöntemi; UNEP-MAP RAC/SPA tarafından yürütülen MedPosidonia programında uygulanan protokole göre gerçekleştirilmiştir (Pergent, 2007; DİSSP, 2019). *P. oceanica* çayırı üst ve alt sınırlar balisaj (işaretleyici) sistemi ile tanımlanmış ve laboratuvarda lepidokronolojik (deniz çayırı yapraklarının yaşam döngülerini incelenmesi), morfometrik ve fenolojik (canlıların biyolojik yaşam döngülerindeki periyodik olayların incelenmesi ve bunların iklimdeki mevsimsel ve yıllık değişikliklerden ve habitat faktörlerinden nasıl etkilendiğinin incelenmesi) parametreleri çalışılmıştır.

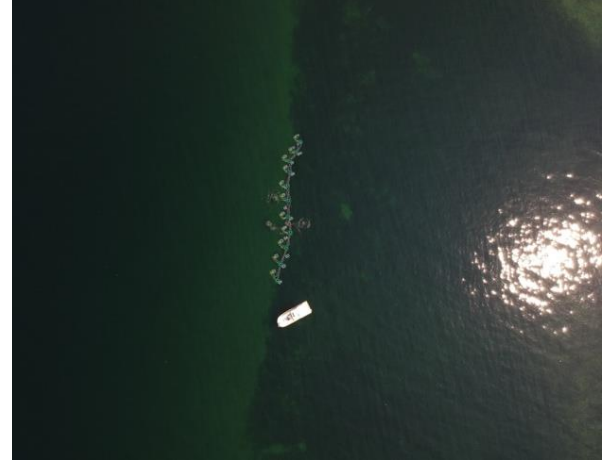


İzleme istasyon kurulum malzemeleri: aletli dalış ekipmanları, 15-20 kg'lık 11 beton blok, 33 demir çubuk (1 m boyunda), fotoğraflama için 11 demir çubuk (1.5 m boyunda), 11 PVC plastik plaka, sualtı fotoğraf/video kamera, sualtı bilgisayar, GPS ve 60x60 cm kuadrat (Pergent, 2007). Uzman dalgıçlar tarafından *P. oceanica* çayırları alt sınırlarında balisaj izleme sistemi kurulmuştur. Her balisajdan sağ-sol-üstten olmak üzere 3 fotoğraf (Şekil 3.49), derinlik, ve koordinat alınmıştır. Laboratuvarda lepidokronolojik, morfometrik ve fenolojik parametrelerin çalışılması için kuadrat yöntemi ile örnekleme yapılmıştır.

Şekil 3.47. Marmara Denizi deniz çayırı *Posidonia oceanica* izleme istasyonları



Şekil 3.48. Paşalimanı Adası izleme istasyonunun Drone görüntüsü (2018, O.Akyol).



Şekil 3.49. Paşalimanı Adası izleme istasyonunda balisaj ve fotoğraf işaretleyicilerinin konumu.



Şekil 3.50. Paşalimanı Adası izleme istasyonunun sağ yan ve üst taraf fotoğraf çekimleri.

Marmara Denizi *Posidonia oceanica* izleme istasyonlarında ortalama ölçüm değerleri ve ekolojik durum sınıfları Tablo 3.7'de sunulmuştur. Bu izleme

istasyonunda 2018-2022 yıllarının ölçüm değerleri ve ekolojik durum sınıfı benzer bulunmuştur.

Tablo 3.7. Marmara Denizi *Posidonia oceanica* izleme istasyonlarında 2018, 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki ortalama ölçüm değerleri ve ekolojik durum sınıflandırması

Temel Özellikler	2018*	2018 **	2019*	2019**	2020*	2020**	2021*	2021**	2022*	2022**
Derinlik (m)	6,1±0,06	KÖTÜ	6,1±0,1	KÖTÜ	6,1±0,1	KÖTÜ	6,1±0,1	KÖTÜ	6,1±0,1	KÖTÜ
Demet yoğunluğu (m ² 'de)	215,2±52,3	ZAYIF	199,2±50,6	ZAYIF	198,5±32,5	ZAYIF	191,7±40,3	ZAYIF	193,2±42,5	ZAYIF
Kaplayıcılık (%)	55,4±0,1	YÜKSEK	62,3±0,2	YÜKSEK	61,8±0,13	YÜKSEK	64,1±0,1	YÜKSEK	70±0,1	YÜKSEK
Yatay rizom	90,8±0,05	YÜKSEK	91,6±0,05	YÜKSEK	92,0±0,1	YÜKSEK	88,9±0,1	YÜKSEK	72,8±0,1	YÜKSEK
Sınırın Tipi	Keskin	İYİ	Keskin	İYİ	Keskin	İYİ	Keskin	İYİ	Keskin	İYİ

* Ölçüm Değeri; ** Ekolojik Durum

2021 yılında Marmara Denizi'nde ortaya çıkan müsilaç olayı buradaki *P. oceanica* çayırlarının üstünü ve sedimanı katman

olarak kaplamış olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.51).



a) 2021 yılı görüntüsü



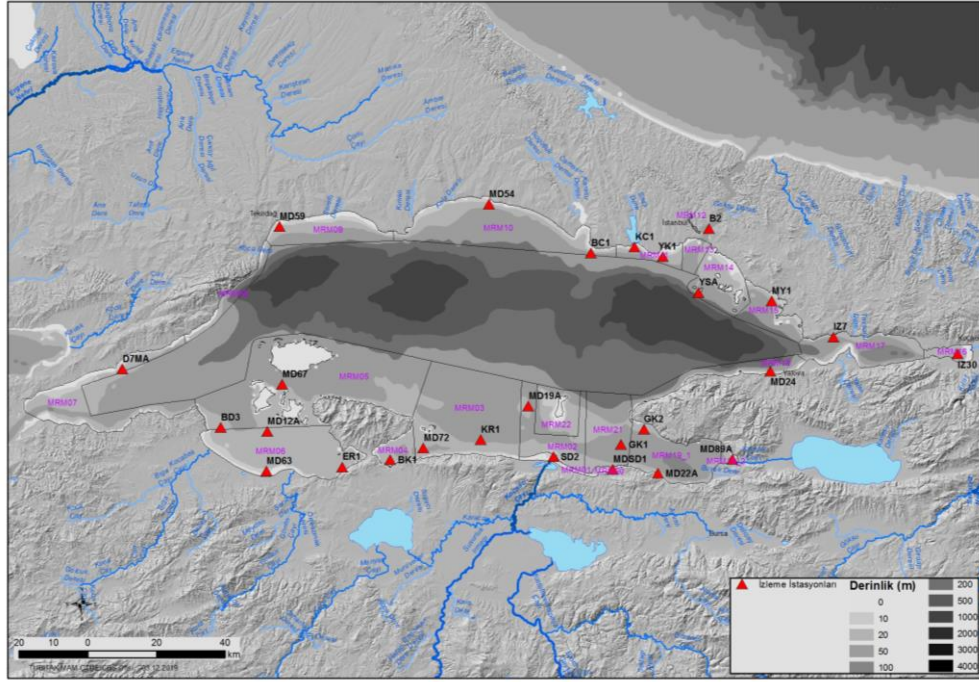
b) 2022 yılı görüntüsü

Şekil 3.51. MPS01 (Paşalimanı Adası) *P. oceanica* izleme istasyonunda 2021 örnekleme döneminde müsilaç oluşumu ve 2022 yılı görüntüsü

3.5.3 Makrozoobentos

Marmara Denizi'nde 2014-2021 yıllarının yaz aylarında 20-29 istasyonda 4-327 m derinlik aralığında 3 replikatlı yumuşak substrat bentik örnekleri standart bir Van Veen Grab ile alınmıştır (Şekil 3.52, Tablo 3.8). Örnekler 0,5 mm göz açıklığına sahip elekten geçirilmiş ve elek üzerinde kalan

materyal kavanozlara konularak %4'lük formaldehit ile fikse edilmiştir. Elde edilen bireylerin uzman araştırmacılar tarafından tür tayinleri yapılmış ve %70'lik alkolde saklanmıştır. (DİSSP,2017)



Şekil 3.52. Marmara Denizi'nde 2021 yılında makrozoobentik örneklemelerin yapıldığı istasyonlar

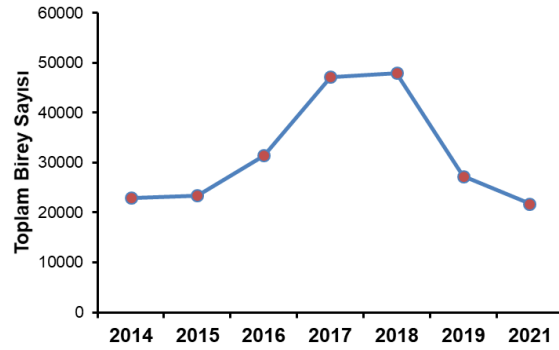
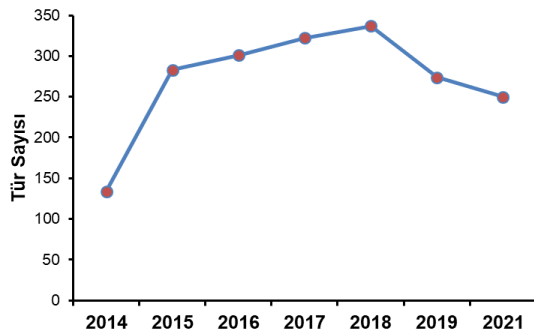
Tablo 3.8. Marmara Denizi'ndeki makrozoobentos istasyonlarının kodları, koordinatları, habitat yapıları, örneklem tarihleri ve derinlikleri

Sıra No	İstasyon Kodu	İstasyon Adı	Tarih	Derinlik (m)	Habitat yapısı
1	İZ 7	İzmit Körfezi	24.07.2021	65	Çamur-İncekum-Kavkı
2	İZ 30	İzmit Körfezi	24.07. 2021	27	Balçık-Fitodetritus
3	MY1	Tuzla-Adalar	26.07.2021	38	Çamur-İncekum
4	YSA	Adalar Bölgesi	27.07.2021	89	Balçık-İncekum
5	B2	İstanbul Boğazı	28.07.2021	41	Kavkı-İncekum
6	YK1	Yenikapı Kıyı	29.07.2021	15	Korallijen-İncekum
7	KC1	Küçükçekmece Kıyı	29.07.2021	21	Balçık Fitodetritus
8	BC1	Büyükçekmece Kıyı	29.07.2021	49	Balçık-İncekum
9	MD54	Silivri Kıyı	31.07.2021	29	Balçık-İncekum
10	MD59	Tekirdağ Kıyı	01.08.2021	21	Çamur-İncekum
11	D7MA	Şarköy	02.08.2021	30	Çamur-Kavkı-İncekum
12	MD67	Marmara Adası Güney	03.08.2021	59	Çamur-İncekum
13	BD3	Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi	02.08.2021	37	Çamur-Kavkı-İncekum
14	MD63	Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi	02.08.2021	12	Çamur-Fitodetritus
15	MD12A	Erdek Körfezi	02.08.2021	44	Çamur-Kavkı-İncekum
16	ER1	Erdek İç Körfez	03.08.2021	32	Çamur-İncekum-Kavkı
17	BK1	Bandırma Körfezi	03.08.2021	34	Çamur-Kavkı-Fitodetritus
18	MD72	Bandırma Körfezi	03.08.2021	44	Çamur-Kavkı
19	KR1	Bursa Kurşunlu Kıyı	04.08.2021	47	Çamur-İncekum

Sıra No	İstasyon Kodu	İstasyon Adı	Tarih	Derinlik (m)	Habitat yapısı
20	MD19A	Bursa Bayramdere	04.08.2021	44	Çamur-İncekum
21	SD2	Susurluk Çayı	04.08.2021	10	İncekum
22	MDSD1	Mudanya Batı	05.08.2021	22	Balçık-Fitodetritus
23	MD89A	Gemlik Körfezi	06.08.2021	39	Çamur-Fitodetritus
24	MD22A	Gemlik Körfezi	05.08.2021	36	Çamur-Fitodetritus
25	GK1	Gemlik Körfez Dışı	05.08.2021	63	Çamur
26	GK2	Gemlik Körfezi Kuzey Batı	05.08.2021	36	Çamur-Kavkı
27	MD24	Yalova Kıyı	07.08.2021	43	Çamur
28	DTM1	Marmara Denizi Güneyi Açık	07.08.2021	327	Çamur
29	DTM5	Tuzla Açık	27.07.2021	165	Çamur

Marmara Denizi'nde örnekleme dönemlerinde belirlenen toplam makrozoobentik tür sayısı 231 (2014 yılı) ile 337 (2018 yılı) arasında, toplam birey

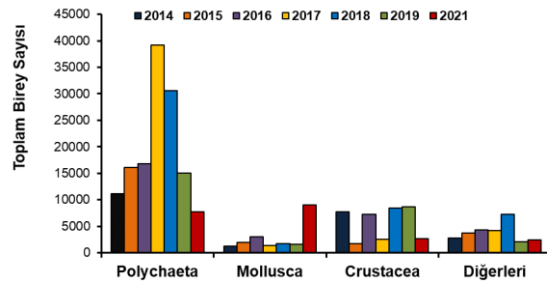
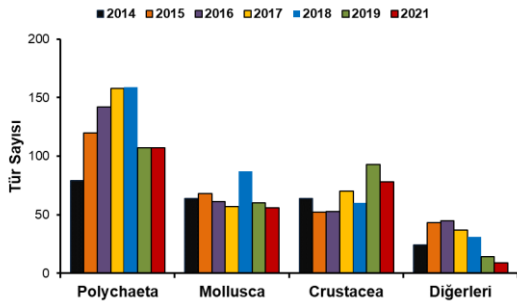
sayısı ise 21759 (2021 yılı) ile 47966 (2018 yılı) arasında değişim göstermiştir (Şekil 3.53).



Şekil 3.53. Marmara Denizi'nde 2014-2021 yılları arasında tespit edilen makrozoobentik tür ve birey sayısı

Araştırma bölgesinde son 8 yılda tespit edilen tür ve birey sayılarının büyük bir kısmı (>%50-70; 2017 yılında toplam bireyin %83'ü) Polychaeta grubuna dahildir (Şekil 3.54). Bu grubu Crustacea ve Mollusca takip etmektedir. Polychaeta

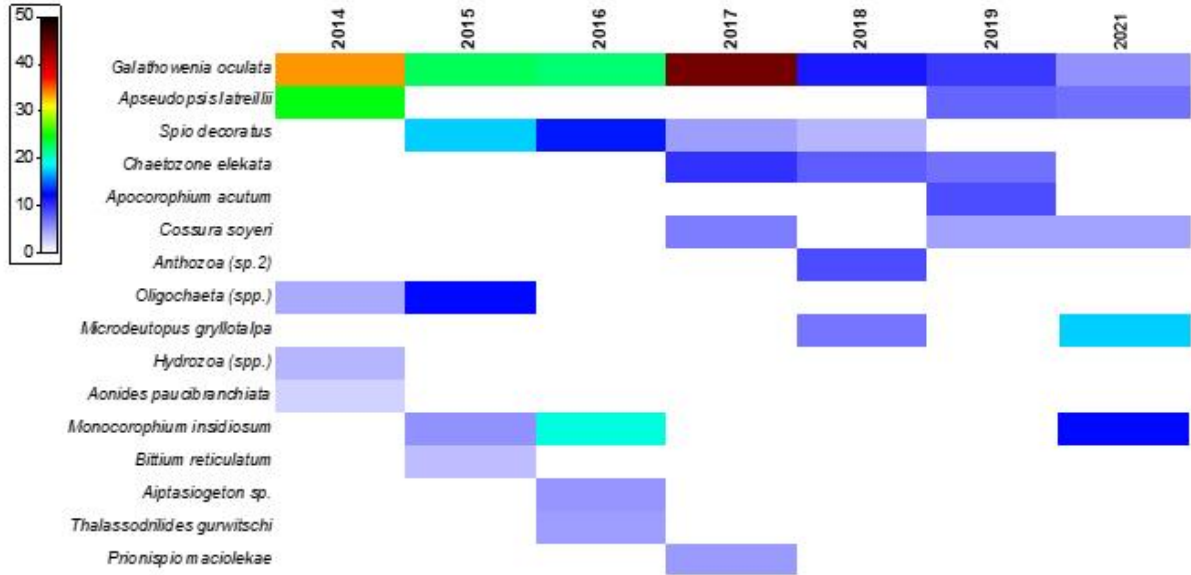
grubu bölgede 2017 ve 2018 yıllarında 150'den daha fazla türle (2017 yılında 158 tür, 2018 yılında 159) ve 30000'den fazla bireyle (2017 yılında 39133 birey, 2018 yılında 39617 birey) temsil edilir.



Şekil 3.54. Marmara Denizi'nde 2014-2021 yılları arasında tespit edilen makrozoobentik tür ve birey sayısının taksonomik gruplara dağılımı

2014-2021 yılları arasında Marmara Denizi'ndeki istasyonlarda en baskın türler Şekil 3.55'de verilmiştir. 2021 yılı dışındaki örnekleme dönemlerinde bölgedeki en baskın tür poliketlerden *Galathowenia oculata* olmuştur. Bu türün baskınlık değeri %7-44 arasında değişmektedir. 2021 yılında en baskın tür *Microdeutopus gryllotalpa* (%15) olarak saptanmıştır. Yıllara bağlı olarak bölgede

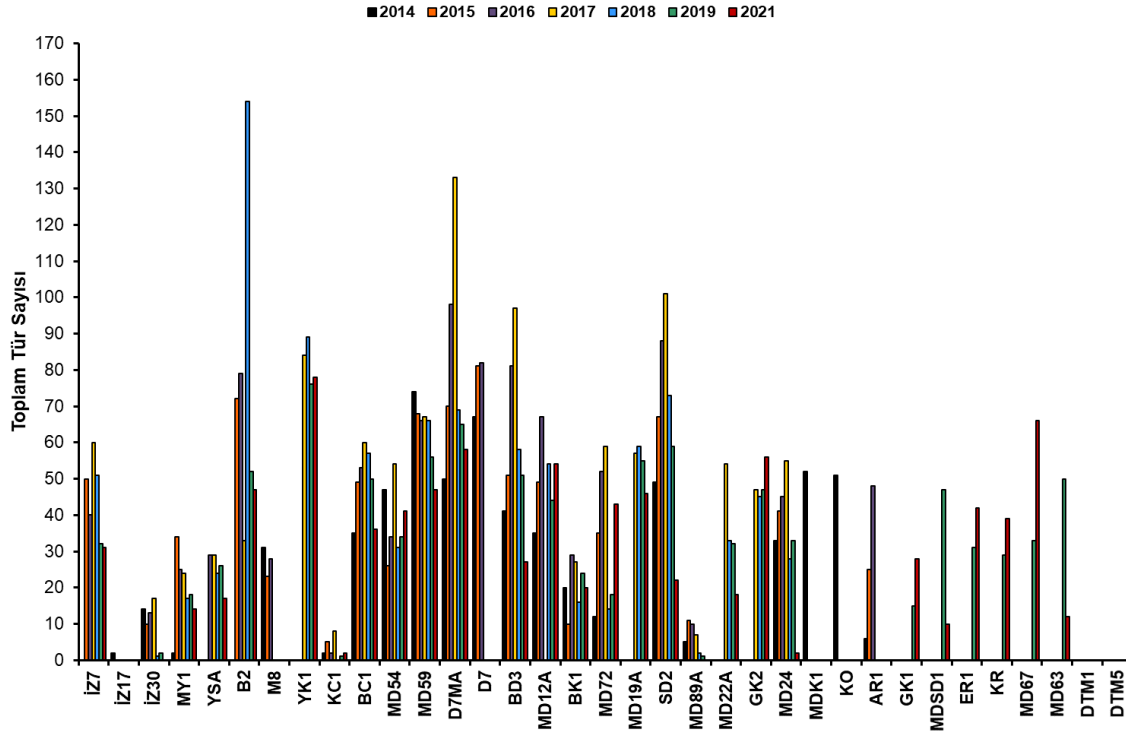
tespit edilen diğer baskın türlerde farklılık mevcuttur. Örneğin 2014 yılında *Apseudopsis latreillii* (%24), 2015 yılında *Spio decoratus* (%17), 2016 yılında *Monocorophium insidiosum* (%19), 2017 yılında *Chaetozone elekata* (%10), 2018 yılında Anthozoa (sp.2) (%9) ve 2019 yılında ise *Apocorophium acutum* (%9) ikinci sıradaki baskın türlerdir.



Şekil 3.55. Marmara Denizi'nde 2014-2021 döneminde tespit edilen en baskın türler ve baskınlık değerleri (%)

Marmara Denizi'ndeki istasyonlarda 2014-2021 yıllarında örnekleme yapılan noktalar değişiklik göstermekte olup en az tür sayısı KC1 Küçükçekmece nolu istasyonda (0-8 tür), en fazla tür sayısı ise D7MA Şarköy

(50-133 tür), SD2 Susurluk (49-101 tür) nolu istasyonlarda tespit edilmiştir. 2021 yılında ilk kez örneklenen derin deniz istasyonlarında ise hiç tür saptanmamıştır (DTM1 ve DTM5)(Şekil 3.56).

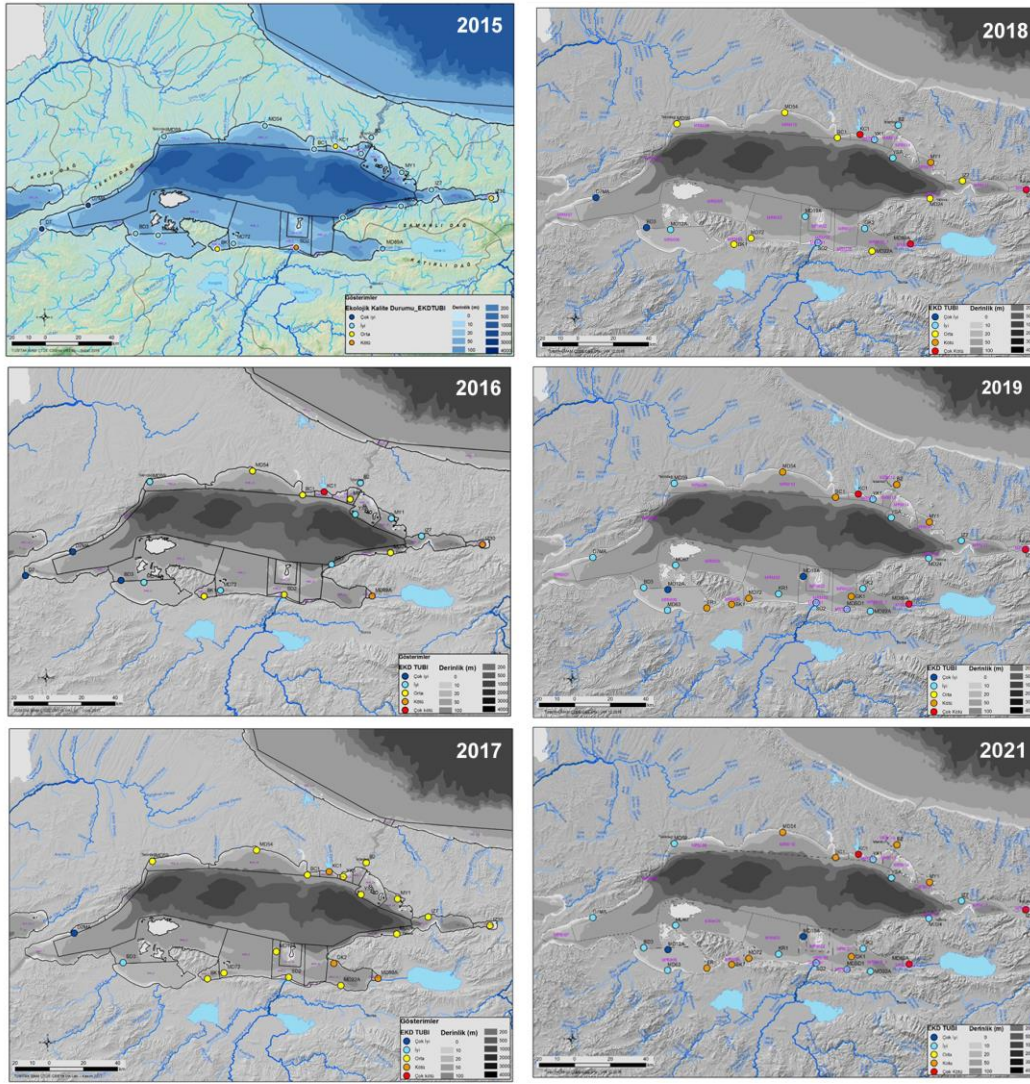


Şekil 3.56. Marmara Denizi’nde 2014-2021 yıllarında istasyonlara tespit edilen toplam tür sayıları

Ekolojik kalite durumu (TUBİ ile değerlendirme)

TUBİ değerleri 2015 yılından itibaren hesaplanmaya başlanmış olup 2015 yılında 2 “çok iyi”, 13 “iyi”, 3 “orta”, 1 “kötü” (SD2 Susurluk); 2016 yılında 3 istasyon “çok iyi”, 8 istasyon “iyi”, 6 istasyon “orta”, 1 istasyon “çok kötü” (KC1 Küçükçekmece); 2017 yılında 1 istasyon “çok iyi”, 1 istasyon “iyi”, 15 istasyon “orta”, 3 istasyon “kötü” (KC1 Küçükçekmece, MD89A Gemlik Körfezi, GK2 Gemlik Körfezi); 2018 yılında ise 2 istasyon “çok iyi”, 7 istasyon “iyi”, 7 istasyon “orta”, 1 istasyon “kötü” (MY1 Pendik) ve 3 istasyon “çok kötü” (KC1 Küçükçekmece, MD89A Gemlik Körfezi, İZ30 İzmit Körfezi) ekolojik kaliteye sahip olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3.57). 2019 yılında hesaplanan ortalama TUBİ

değerlerine göre 2 istasyonun (MD12A Erdek Körfezi ve MD19A Bayramdere) ekolojik kalite durumu “çok iyi”, 14 istasyonun ekolojik kalite durumu “iyi”, 8 istasyonun durumu “kötü”, 3 istasyonun (İZ30 İzmit Körfezi, KC1 Küçükçekmece, MD89A Gemlik Körfezi) ise ekolojik kalite durumu “çok kötü”dür. 2021 yılı örneklemede TUBİ değerleri 0-4,48 arasında değişim göstermiştir. Ortalama TUBİ değerlerine göre 2 istasyonun (MD12A ve MD19A) ekolojik kalite durumu “çok iyi”, 12 istasyonun ekolojik kalite durumu “iyi”, 7 istasyonun durumu “orta”, 3 istasyonun (MY1, BK1, MD24) “kötü”, 5 istasyonun (İZ30, KC1, MD89A, DTM1 ve DTM5) ise ekolojik kalite durumu ise “çok kötü”dür (Şekil 3.57).

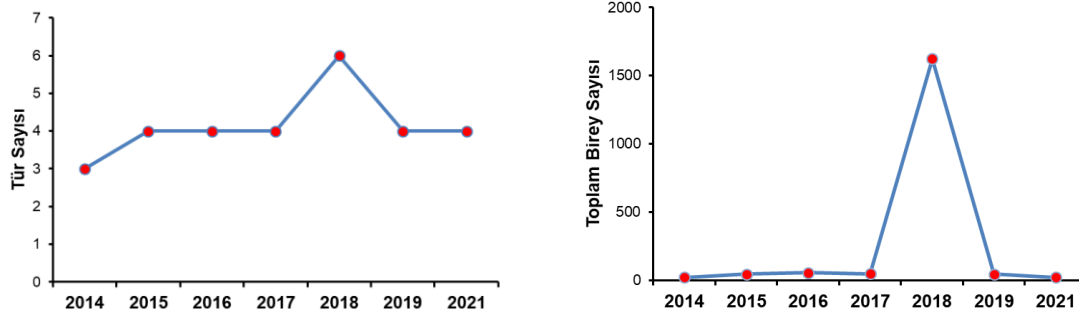


Şekil 3.57. TUBİ değerlerine göre Marmara Denizi yumuşak substratum istasyonlarının yıllara bağlı ekolojik kalite durumları

Yabancı türler

Marmara Denizi'nde 2014-2021 yıllarında istasyonlarda tespit edilen yabancı tür sayısı 2 (2014 yılı) ile 6 (2018 yılı) arasında; yabancı türlere ait birey sayısı ise 15 (2014 yılı) ile 1624 (2018) arasında değişim gösterir (Şekil 3.58). 2018 yılında

yüksek birey sayısının nedeni B2 nolu istasyonda *Polydora cornuta*'nın yoğun popülasyon oluşturmasıdır. Bu türün bu kadar yoğun popülasyonu diğer yıllarda saptanmamıştır.



Şekil 3.58. Marmara Denizi'nde 2014-2021 yılları arasında tespit edilen yabancı türlere ait tür ve birey sayısı

Marmara Denizi'nde 2015-2021 yılları arasında 11 yabancı tür saptanmış olup yabancı türler ve toplam birey sayıları Tablo 3.9'da sunulmuştur. Tespit edilen türlerden 8'i Polychaeta, 2'si Mollusca, 1'i

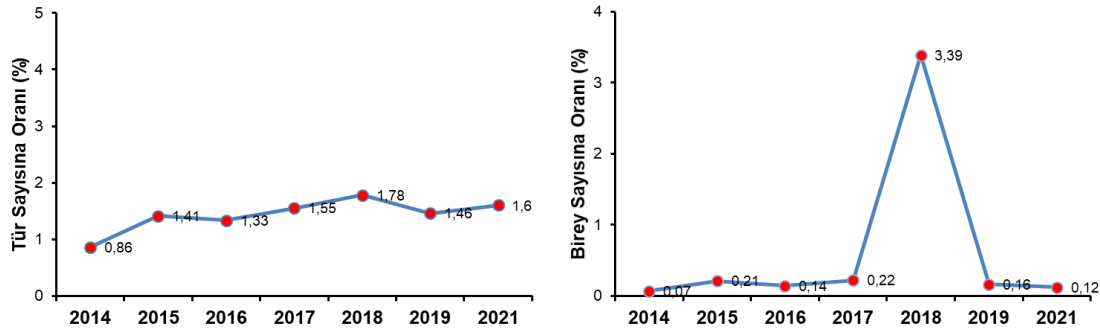
ise Echinodermata grubuna aittir. Toplam bentik komünite içerisinde yabancı türlerin birey sayısı oldukça düşük olup örnekleme yapılan yıllarda hiçbir istasyonda baskın değildir.

Tablo 3.9. Marmara Denizi'nde 2014-2021 yılları arasında tespit edilen yabancı makrozoobentik türler ve toplam birey sayıları

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2021
POLYCHAETA							
<i>Desdemona ornata</i>					2	1	
<i>Hydroides elegans</i>		5	1				2
<i>Notomastus aberans</i>	10						
<i>Paraprionospio coora</i>	5	26	22	86	39	22	14
<i>Polydora cornuta</i>		1	18	5	1349	14	
<i>Prionospio depauperata</i>					6		
<i>Prionospio pulchra</i>				8	108		
<i>Pseudopolydora paucibranchiata</i>		18	4	3	120	7	
MOLLUSCA							
<i>Anadara kagoshimensis</i>							4
<i>Ruditapes philippinarum</i>							1
ECHINODERMATA							
<i>Asterias rubens</i>				2			

Marmara Denizi'nde yabancı türlerin (tür ve birey sayısının) son 8 yılda bentik topluluklardaki önemleri Şekil 3.59'da gösterilmiştir. Marmara Denizi'nde 2015-2021 yıllarında yabancı tür sayısı toplam tür sayısının yaklaşık %0,9-1,8'ini oluşturur. Yabancı tür yerli tür oranlarında

belirgin bir fark yoktur. 2018 yılı hariç, yabancı türlerin birey sayısının toplam birey sayısına oranı %0,07-0,22 arasındadır. Ancak 2018 yılında, B2 nolu istasyonda yoğun popülasyonu saptanan *Polydora cornuta* nedeniyle, bu oran %3,4'e kadar yükselmiştir.



Şekil 3.59. Marmara Denizi'nde yıllara bağlı olarak yabancı tür ve birey sayısının toplam tür ve birey sayısına oranları

Marmara Denizi istasyonlarında ALEX indeksi 2017-2021 yılları arasında hesaplanmış olup tüm istasyonlar yabancı türlerin etkisi bakımından çok iyi kalitededir. İndeks

değerleri 0-0,04 arasında değişmektedir. Bölge genelinde yabancı türlerin bentik topluluklar üzerine etkileri oldukça zayıftır.

Sert Substratum

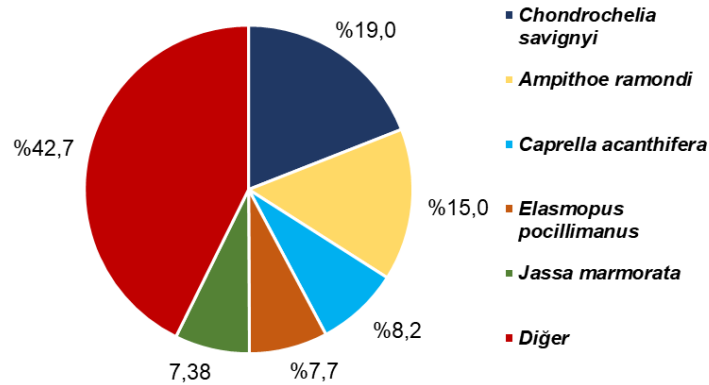
Bu habitat tipi ilk kez Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı kapsamında 2021 yılındaki izleme çalışmalarına dahil edilmiştir. Marmara Denizi kıyılarında seçilen 3 sert substratum istasyonunun (Şarköy, Hereke, Mudanya) kayalık üstinfralittoral zonundaki alg fasiyesleri 20x20 cm'lik bir kuadrat yardımıyla 2021 yılı yaz mevsiminde (Temmuz ve Ağustos) örneklenmiştir (Şekil 3.60).



Şekil 3.60 Marmara Denizi'ndeki sert substratum ve liman istasyonları.

2021 yılında Marmara Denizi kıyılarımızda yer alan MSZ01, MSZ02 ve MSZ03 nolu istasyonlardaki *Cystoseira* sp. ve *Ulva* sp. türü alglerin fasies oluşturduğu sert substratumdan toplanan bentik materyalin incelenmesi sonucunda 8 taksonomik gruba (Cnidaria, Platyhelminthes, Nemertea, Polychaeta, Crustacea, Pycnogonida, Mollusca ve Echinodermata) ait 61 tür ve bu türlere ait toplam 4962 birey tespit edilmiştir. Gruplar arasında Crustacea tür sayısı (toplam tür sayısının %50'si), ve birey sayısı (%75) bakımından en baskın grup olmuştur.

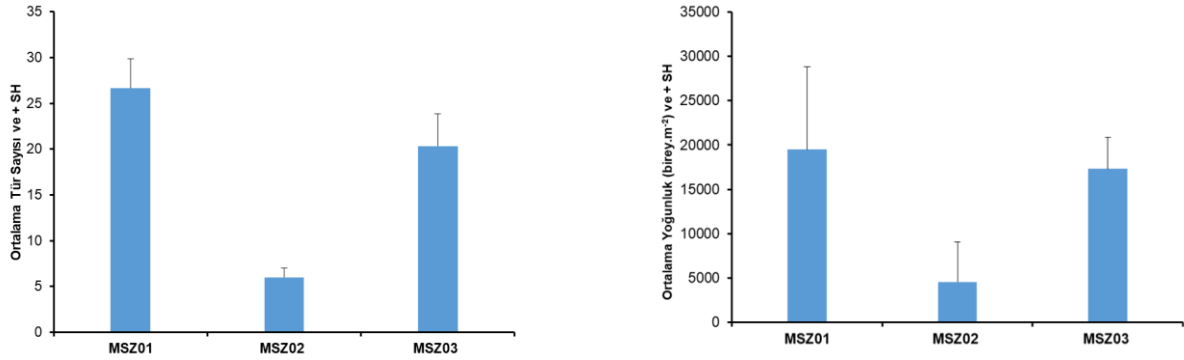
Araştırma bölgesinde tespit edilen baskın türlerin tamamı Crustacea grubunda yer alan türlerdir. Bunlardan *Chondrochelia savignyi* 945 bireyle (%19) en baskın tür olarak saptanmıştır. Bu türü sırasıyla, *Ampithoe ramondi* (%15), *Caprella acanthifera* (%8,2), *Elasmopus pocillimanus* (%7,7) ve *Jassa marmorata* (%7,4) takip etmektedir (Şekil 3.61).



Şekil 3.61 Marmara Denizi sert substratum istasyonlarındaki baskın türler.

İstasyonlar arasında en yüksek ortalama tür (26 tür) ve birey sayısı (19483,3 birey.m⁻²) MSZ01 nolu istasyonda (Şarköy); en düşük

ortalama tür (6 tür) ve birey sayısı (4550 birey.m⁻²) ise MSZ02 nolu istasyonda (Hereke) saptanmıştır (Şekil 3.62).



Şekil 3.62 Marmara Denizi sert substratum istasyonlardaki ortalama tür ve birey sayıları ile + Standart Hatası (SH).

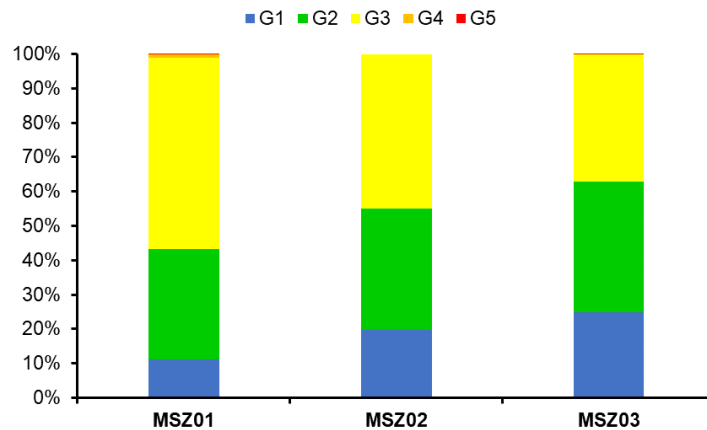
Haydarpaşa Limanı'ndan rastgele örneklenen sert substratum örneklerinin değerlendirilmesi sonucunda ise 6 taksonomik gruba (Platyhelminthes,

Nemertea, Polychaeta, Crustacea, Pycnogonida, Mollusca) ait 23 tür tespit edilmiştir. Bu örneklemede yabancı tür saptanmamıştır.

Ekolojik kalite durumu (TUBI ile değerlendirme)

Araştırma bölgesinde tespit edilen toplam 61 omurgasız türünden 28 tür ekolojik gruplardan GI (duyarlı tür), 18 tür GII (duyarsız tür), 13 tür GIII (toleranslı tür), 1 tür ise GIV (ikinci sınıf fırsatçı tür) ve 1 tür GV (birinci sınıf fırsatçı tür) grubunda yer almaktadır. Bölgedeki en baskın ekolojik gruplar %46'lık baskınlık değeri ile GI olurken, bu grubu %30 ile GII izlemiştir. İstasyonlarda en yüksek ortalama GI oranı

(%25) MSZ03 nolu istasyonda saptanmış olup bunu MSZ02 ve MSZ01 izlemektedir (Şekil 14). GII oranı %32 ile %38 arasında değişirken; toleranslı türlerin yer aldığı GIII ise %37-%56 arasında değer almıştır. Fırsatçıların bulunduğu GIV grubunun oranı %0,9 (MSZ01); GV ekolojik grubunun oranı ise nolu istasyonlarda %0,003-0,06 aralığında çok küçük bir oran olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.63).



Şekil 3.63 Marmara Denizi sert substratum istasyonlarında ekolojik grupların ortalama yüzdeleri.

Araştırma bölgesinden toplanan bentik örneklerde en yüksek ortalama TUBI değeri (3,17) MSZ01 nolu istasyonda, en düşük TUBI değeri (2,23) ise MSZ02 nolu istasyonda saptanmıştır. Ortalama TUBI

değerlerine göre MSZ01 nolu istasyonun ekolojik kalite durumunun iyi, MSZ02 ve MSZ03 nolu istasyonların ekolojik kalite durumlarının ise orta seviyede olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.64).



Şekil 3.64 Ortalama TUBİ değerlerine göre Marmara Denizi sert substratum istasyonlarının ekolojik kalite durumları

Yabancı türler

Marmara Denizi'ndeki sert substratumlu istasyonlardan toplanan örneklerde yabancı tür saptanmamıştır.

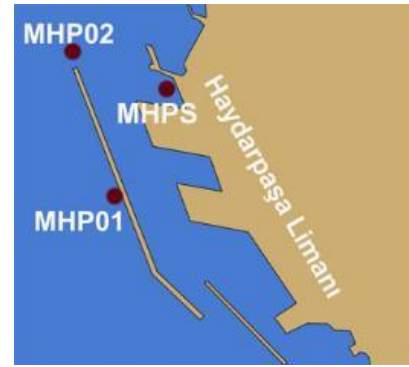
3.5.4 Haydarpaşa Limanı Yabancı/Yayılımcı Tür Çalışması

DEN-İZ Programı kapsamında 2021 yılı yaz döneminde Marmara Denizi'nde uluslararası faaliyet gösteren Haydarpaşa

Limanı'nda yabancı tür tespit çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.65).



a) Makroalg istasyonları



b) Makrozoobentos istasyonları

Şekil 3.65 Marmara Denizi'nde Haydarpaşa Limanında 2021 yılında yabancı/istilacı tür çalışması örneklemelerin yapıldığı istasyonlar

Makrozoobentos

Haydarpaşa Limanı'ndan liman içi ve dışından olmak üzere yumuşak substratuma sahip 2 istasyondan toplanan materyalin değerlendirilmesi sonucunda 8 taksonomik gruba (Cnidaria, Sipuncula, Nemertea, Polychaeta, Crustacea, Phoronida, Mollusca ve Echinodermata) ait 66 tür ve bu türlere ait toplam 3157 birey tespit edilmiştir.

Araştırma bölgesinde tespit edilen türlerden *Capitella teleta* (%43,4) en baskın türdür. Bu türü sırasıyla, *Protodorvillea kefersteini* (%16,5) ve

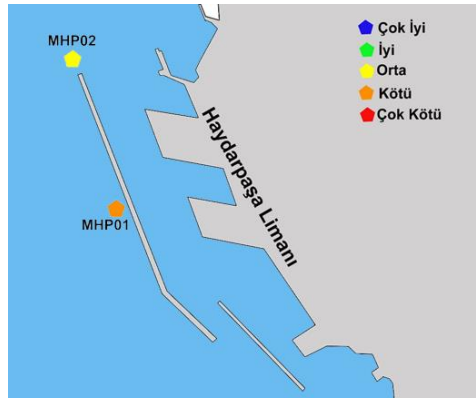
Prionospio maciolekae (%10,5) izlemektedirler.

Haydarpaşa Limanı'ndan rastgele alınan sert substratum örneklerinin değerlendirilmesi sonucunda 6 taksonomik gruba (Platyhelminthes, Nemertea, Polychaeta, Crustacea, Pycnogonida, Mollusca) ait 23 tür tespit edilmiştir. Toplanan örnekler rastgele olarak kalitatif alındığı için birey sayıları değerlendirmeye alınmamıştır. Rastgele örneklemede saptanan türler arasında yabancı tür saptanmamıştır.

Ekolojik kalite durumu (TUBİ ile değerlendirme)

Haydarpaşa Limanı'ndan kaydedilen toplam 66 türden 23 tür ekolojik gruplardan GI (duyarlı tür), 22 tür GII (duyarsız tür), 18 tür GIII (toleranslı tür), 1 tür GIV ve 2 tür ise GV (fırsatçı türler) gruplarında yer almaktadır. Bu bölgede saptanan fırsatçı türlerin dahil olduğu GIV ve GV ekolojik gruplara dahil türlerin tamamı poliket türleri olup bunlar *Capitella teleta* ve *Heteromastus filiformis*'dir.

İstasyonlarda toplanan bentik örneklerde en yüksek ortalama TUBİ değeri MHP02 nolu istasyonda 2,79, en düşük ortalama TUBİ değeri ise MHP01 nolu istasyonda 1,43 olarak saptanmıştır. Ortalama TUBİ değerlerine göre MHP01 nolu istasyonun ekolojik kalite durumu kötü, MHP01 nolu istasyonun ekolojik kalite durumu orta seviyededir (Şekil 3.66).



Şekil 3.66. Ortalama TUBİ değerlerine göre Haydarpaşa Limanı yumuşak substratum istasyonlarının ekolojik kalite durumları

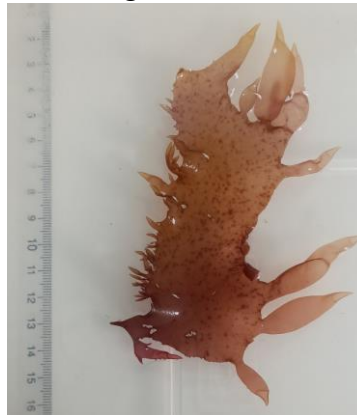
Yabancı türler

Haydarpaşa Limanı'ndaki yumuşak substratumlu istasyonlarda yapılan incelemede yabancı tür tespit edilmemiştir.

Limanlarda Yabancı ve Yavılimcı Makroflora İzleme Çalışması

MHPMA01 (Haydarpaşa Liman içi) noktasında yapılan yabancı makroalg örneklemesinde kırmızı alg *Polysiphonia morrowii* türü bulunmuştur. MHPMA02 (Haydarpaşa Liman Dışı) noktasında ise yabancı türlerden ipliksi kırmızı alg

Falkenbergia rufolanosa (*Asparagopsis armata* türünün tetrasporofit evresidir) ile geniş yapraksı talluslu *Grateloupia turuturu* bulunmuştur (Şekil 3.67).

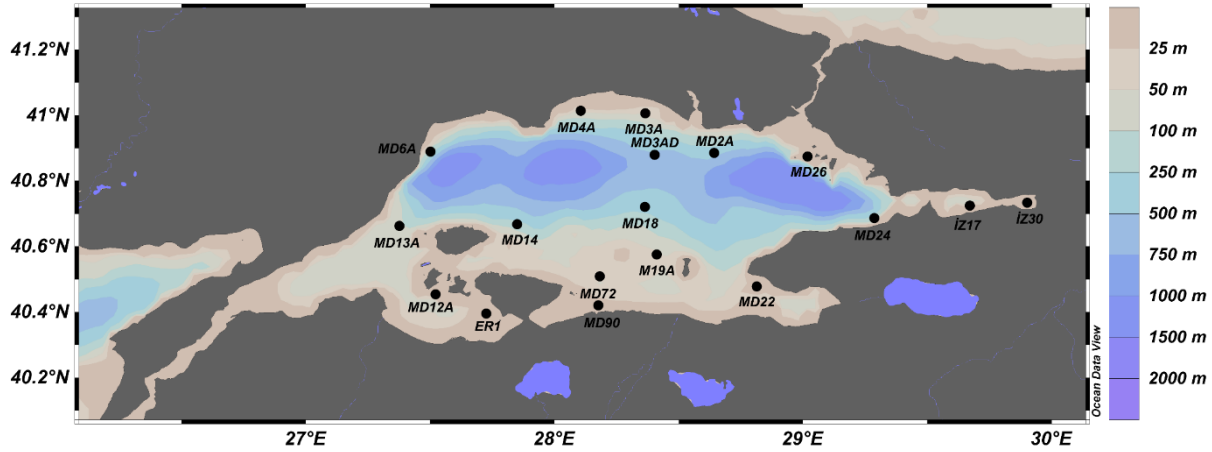


Şekil 3.67. Kırmızı alg *Grateloupia turuturu*

3.5.5 Trol Çalışması ile Balık ve Omurgasız Biyoçeşitliliği

Marmara Denizi'nde balık ve omurgasız biyoçeşitliliğin belirlenmesi amacıyla 2021 sonbahar döneminde yapılan bu araştırmada, dip yapısının kumlu-çamurlu olduğu alanda gerçekleştirilen toplam 18 dip trolü/algarna çekimleri sonucunda (Şekil 3.68, EK2), iki taksonomik gruba ait 38 balık türü ve dört taksonomik gruba ait 31 makrozoobentik tür elde edilmiştir.

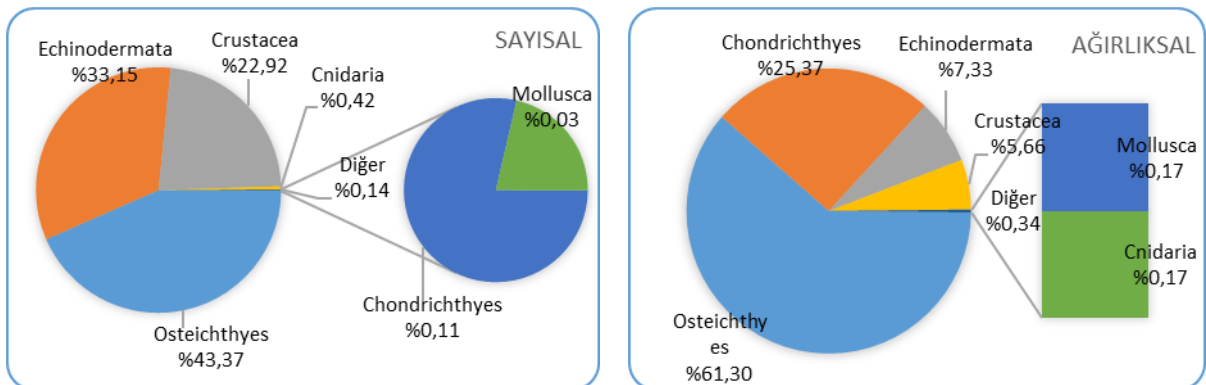
Genel olarak bu taksonomik gruplar içerdikleri tür sayılarına göre sırasıyla; kemikli balıklar (osteichthyes) 31 tür, kıkırdaklı balıklar (chondrichthyes) 7 tür, kabuklular (crustacea) 5 tür, yumuşakçalar (mollusca) 12 tür, derisi dikenliler (echinodermata) 12 tür ve knidliler/haşlamlılar (cnidaria) 2 tür oluşturmaktadır.



Şekil 3.68. Marmara Denizi dip trol ve algarna ile deniz tabanı biyoçeşitliliği ve katı atıkları çalışma bölgeleri

Örneklemeler sonucunda elde edilen türler grup bazında incelendiğinde, sayısal olarak en baskın grubun % 43,37 ile osteichthyes olduğu ve bunu % 33,15 ile echinodermata, % 22,92 ile crustacea, % 0,42 ile cnidaria, % 0,11 ile chondrichthyes ve % 0,03 ile mollusca gruplarının takip

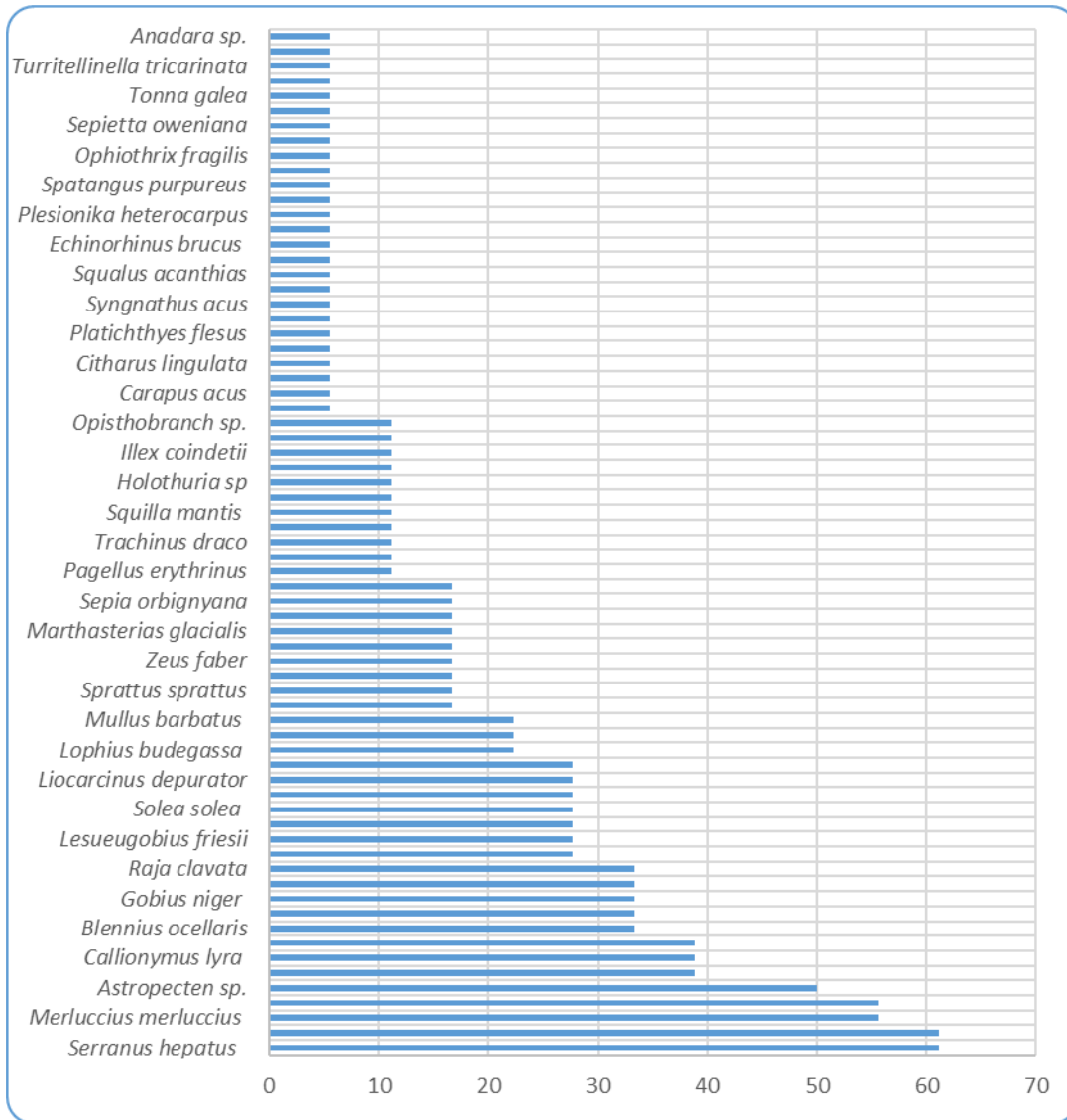
ettiği görülmektedir. Ağırlıksal dağılıma baktığımızda ise; % 61,30 ile osteichthyes olduğu ve bunu % 25,37 ile chondrichthyes, % 7,33 ile echinodermata, % 5,66 crustacea, % 0,17 ile mollusca ve % 0,17 ile cnidaria grubunun izlediği anlaşılmaktadır (Şekil 3.69).



Şekil 3.69. Av kompozisyonunda yer alan taksonomik grupların sayısal ve ağırlıksal dağılımı

Araştırma süresince elde edilen türlerin görünme sıklığını incelediğimizde; 5 tür devamlı, 15 tür yaygın ve 49 tür seyrek olarak görünmektedir. Kemikli balıklar içinde görünme sıklığı en fazla olan türler *Trachurus trachurus* (% 61,11), *Serranus hepatus* (% 61,11) ve *Merluccius merluccius* (% 55,56)'dır. Kıkırdaklı balıklar içinde görünme sıklığı en fazla olan türler *Raja clavata* (% 33,33) ve *Scyliorhinus canicula* (% 27,78) olduğu tespit edilmiştir. Makrozoobentik türler içinde ise, görünme sıklığı en fazla olan tür *Parapenaeus longirostris* (% 55,56)'dir (Şekil 3.70). 2016 yılında kemikli balık

grubundan bir tür (*S. hepatus*), 2019 yılında sekiz tür (*T. trachurus*, *M. merluccius*, *S. hepatus*, *Eutrigla gurnardus*, *Chelidonichthys lucerna*, *Merlangius merlangus*, *Blennius ocellaris* ve *Sprattus sprattus*) devamlı tür kapsamında iken, 2021 yılında üç kemikli balık türü (*M. merluccius*, *S. hepatus*, *Callionymus lyra*) devamlı tür kapsamındadır. *E. gurnardus*, *C. lucerna* ve *B. ocellaris* devamlı türden yaygın tür kapsamına, *M. merlangus* ve *S. sprattus* devamlı türden seyrek tür kapsamına girdiği görülmektedir.



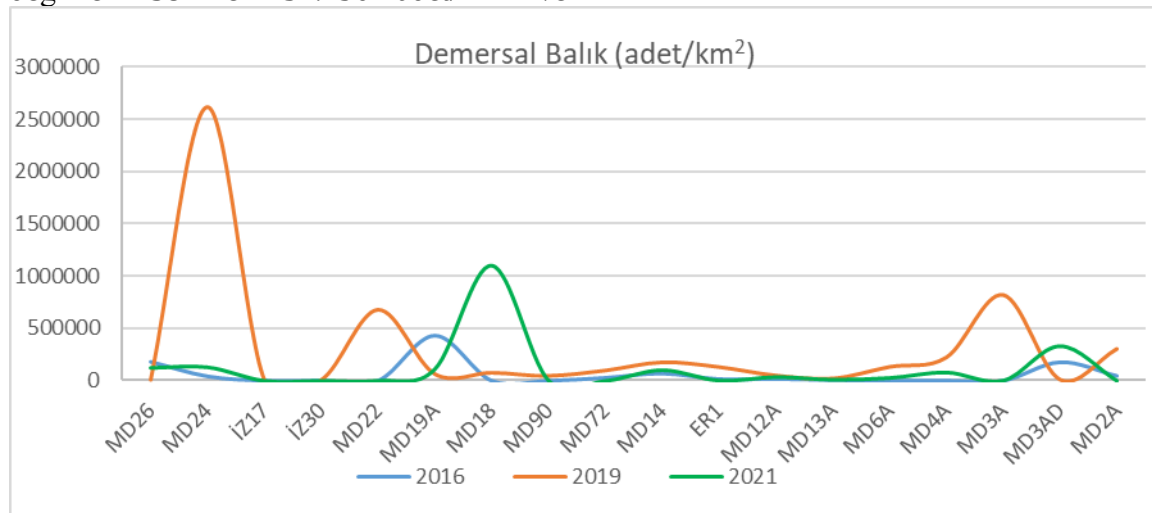
Şekil 3.70. Av kompozisyonunda yer alan türlerin görünme sıklığı

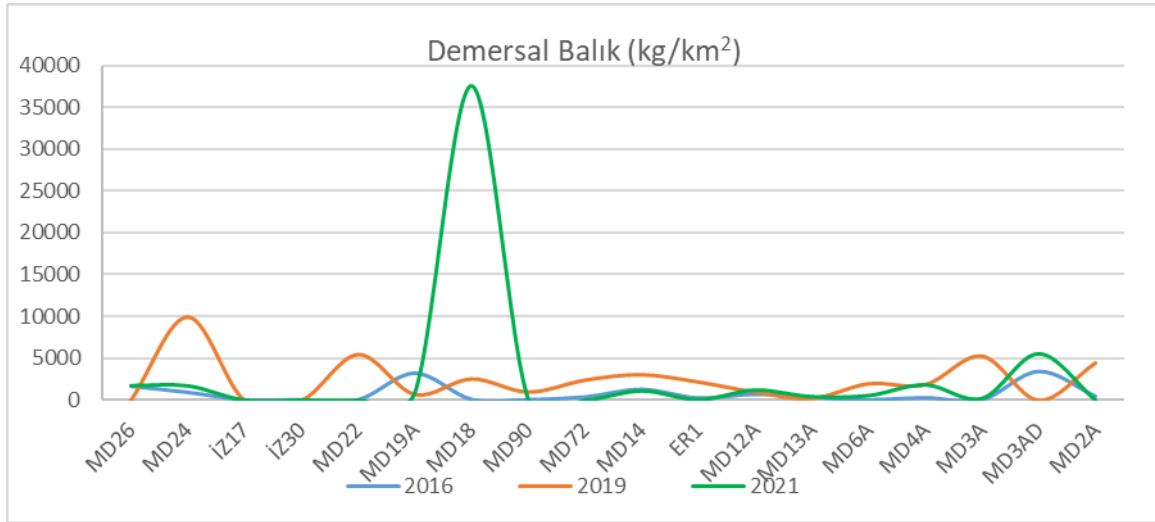
Kıkırdaklı balıklarda görünme frekansı en yüksek türler *R. clavata* (% 33,33), *S. canicula* (% 27,78) ve *Oxynotus centrina* (% 11,11)'dir. 2019 yılındaki çalışmada, sadece *R. clavata* yaygın dağılım gösterdiği diğer köpek balıklarının ise seyrek türler statüsünde olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, *R. clavata* ve *S. canicula* yaygın dağılım gösterdiği diğer köpek balıklarının seyrek olan türler statüsünde olduğu görülmektedir.

Makrozoobentik türler içinde ise, görünme sıklığı en fazla olan türler *P. longirostris* (% 55,56), *Astropecten sp.* (%50), *Brissopsis lyrifera* (%38,89), *Liocarcinus depurator* (%27,78) ve *Parastichopus regalis* (%27,78)'dir. 2019 yılındaki çalışmada, *A. aurita* (%100) ve *P. longirostris* (%77,78) devamlı türler statüsünde olduğu tespit edilmiştir. *B. lyrifera* ve *Spatangus purpureus*, Doğu Marmara'da makrozoobentik türler içinde en baskın türler olarak görülmektedir. İstanbul Prens adaları, Yalova açıkları, Çınarcık çukuru yakınlarında, Marmara Ereğlisi, Silivri ve Büyükçekmece açıklarında bu türlere her çalışma döneminde rastlanılmaktadır. Bu türler organik kirliliğin olduğu bölgelerde dağılım göstermektedir.

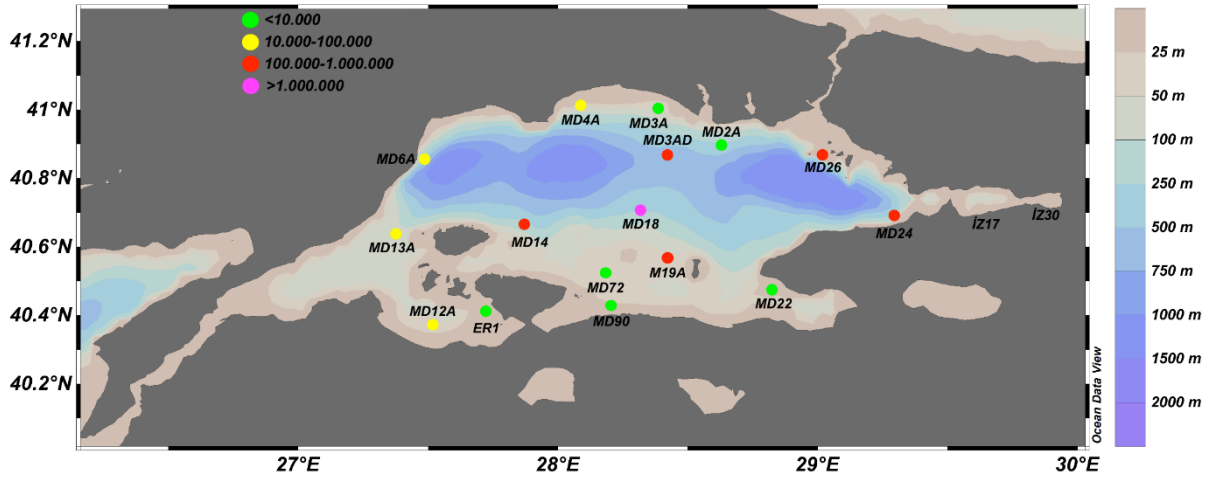
Marmara Denizi araştırma istasyonlarında, 2016, 2019 ve 2021 yıllarına ait demersal balık biyokütle ve bolluk değerleri karşılaştırıldığında; 2016 yılında bolluk değerleri 58 ile 431.490 adet/km² ve

biyokütle değerleri 1 ile 3459 kg/km² arasında değişirken, 2019 yılında bolluk değerleri 1272 ile 2.621.310 adet/km² ve biyokütle değerleri 13,80 ile 9935 kg/km² arasında, 2021 yılında bolluk değerleri ise 310 ile 1.097.385 adet/km² ve biyokütle değerleri 2,58 ile 37515 kg/km² arasında değişmiştir (Şekil 3.71, Şekil 3.72, Şekil 3.73). Trol avcılığında hedeflenen türler demersal balıklar ve bentik türler olmasına rağmen, pelajik balıkların girdikleri de gözlenmektedir. 2019 yılındaki çalışmada pelajik balıklardan istavrit ve çaça balığı en sık karşılaşılan balık olup, özellikle MD24, MD22, MD4A, MD3A istasyonlarında bu iki tür toplam bolluk/biyokütle değerlerinin yüksek olmasına yol açmıştır. 2021 yılındaki çalışmada istavrit balığı en sık karşılaşılan balık olup, MD18 ve MD3AD istasyonlarında toplam bolluk/biyokütle değerlerinin yüksek çıkmasını sağlamıştır. İstavrit balığının bolluk ve biyokütle değerlerinin zamansal ve mekânsal bakımdan karşılaştırdığımız zaman, 2019 yılında bolluk ve biyokütle değerleri 50-80 m derinliklerde daha yoğun iken, 2021 yılında bu değerlerin 130-150 m derinliklerde daha yoğun olduğu görülmektedir. 2021 yılında Marmara Denizi'nde kıyısız alanlarda yoğun görülen musilaj olayından dolayı pelajik balıkların daha derin ve açık alanlara doğru göç etmiş olabileceği değerlendirilmektedir.

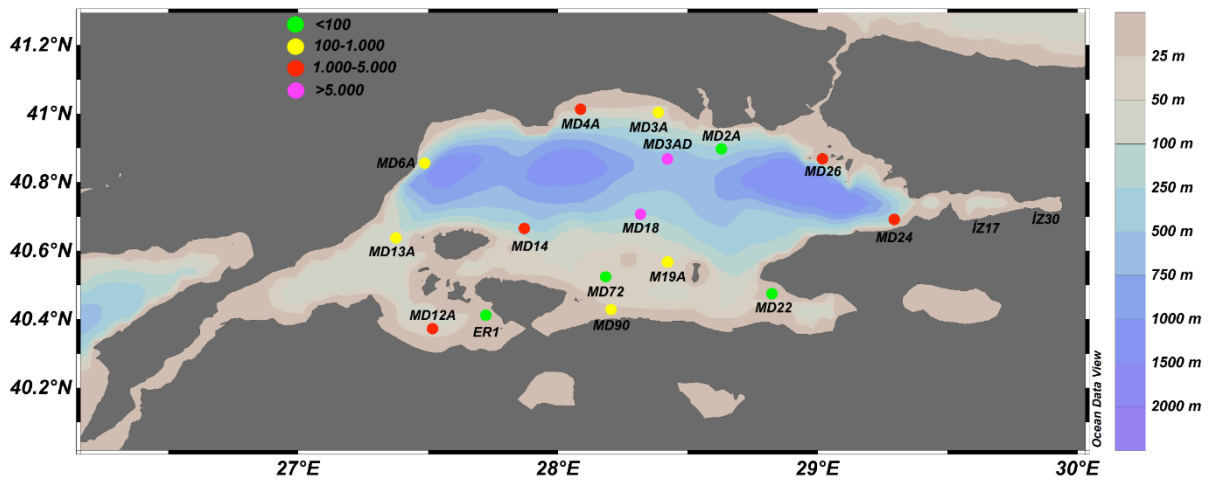




Şekil 3.71. 2016, 2019 ve 2021 yıllarına ait istasyonlara göre demersal balık bolluk ve biyokütle değerleri (kg/km²)



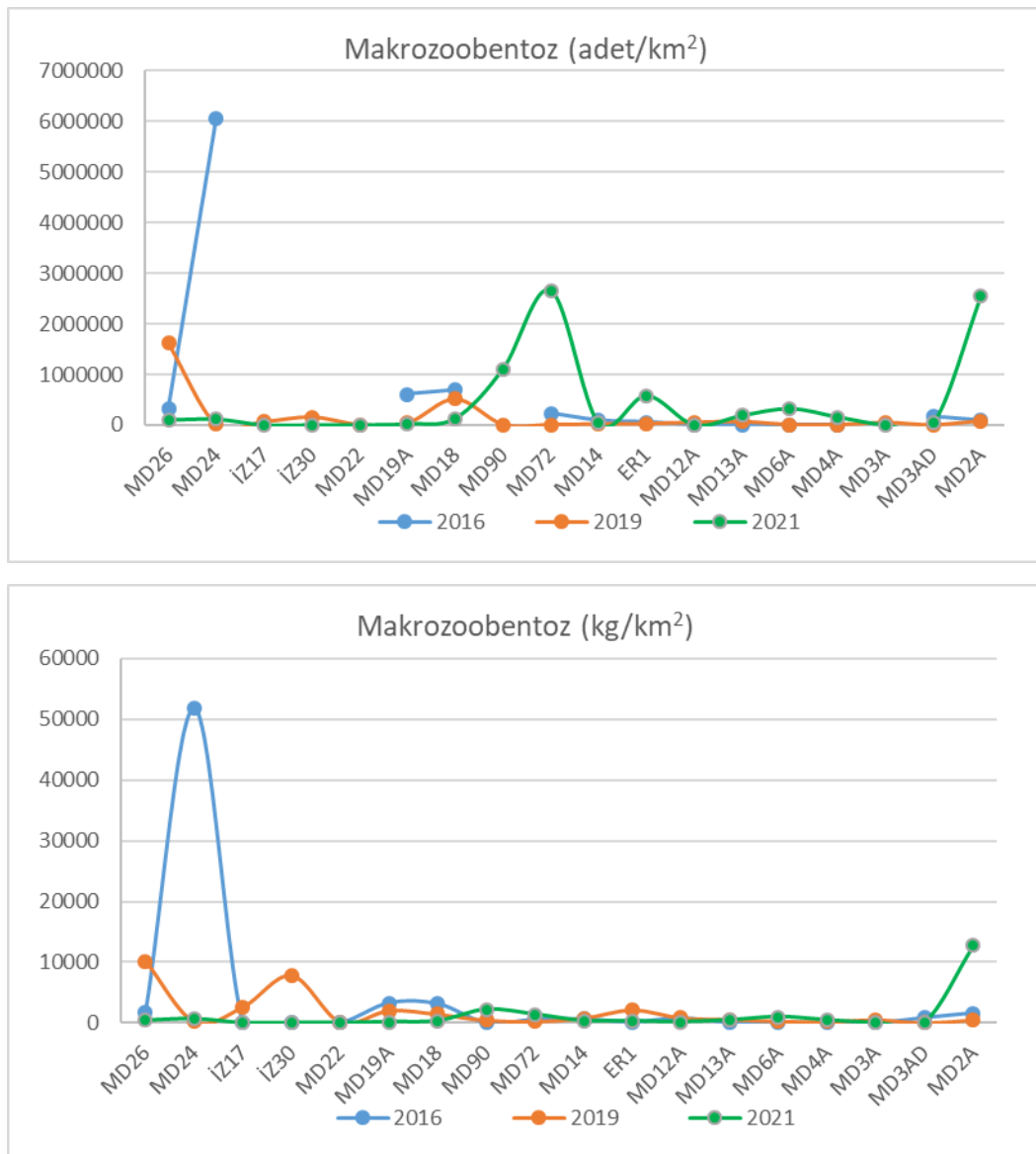
Şekil 3.72. İstasyonlara göre toplam demersal balık bolluk değerleri (adet/km²)



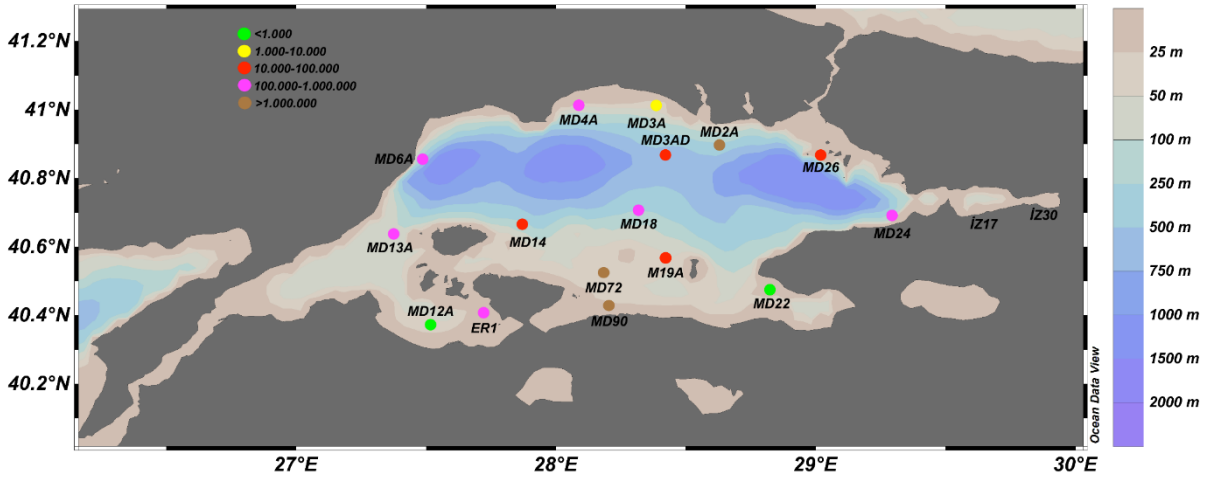
Şekil 3.73. İstasyonlara göre toplam demersal balık biyokütle değerleri (kg/km²)

2016, 2019 ve 2021 yıllarına ait makrozoobentik türlerin biyokütle ve bolluk değerleri karşılaştırıldığında; 2016 yılında bolluk değerleri 1728 ile 6.055.958 adet/km² ve biyokütle değerleri 12 ile 51.864 kg/km² arasında değişirken, 2019 yılında bolluk değerleri 570 ile 1.623.594 adet/km² ve biyokütle değerleri 49,41 ile 10.164 kg/km² arasında ve 2021 yılında bolluk değerleri ise 93 ile 2.660.907 adet/km² ve biyokütle değerleri 0,5 ile 12.723 kg/km² arasında değişmiştir (Şekil 3.74, Şekil 3.75, Şekil 3.76).

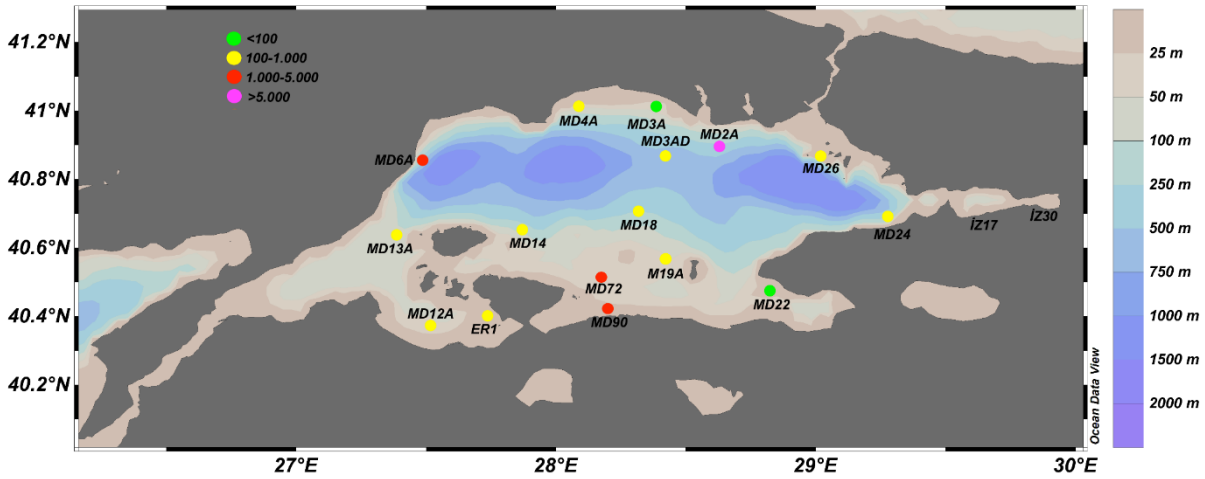
yılındaki çalışmada MD24 istasyonunda *B. unicolor* türünün yoğun görülmesi bolluk/biyokütle değerlerinin yüksek olmasına rağmen, 2019 ve 2021 yılında bu türe rastlanılmamıştır. 2021 yılında MD90 ve MD72 istasyonlarında *Astropecten sp.* ve *Ophiura sp.* tür deniz yıldızları, MD2A istasyonunda ise *B. lyrifera* türü (deniz kestanesi, deniz kirpisi) toplam bolluk değerlerinin yüksek çıkmasını sağlamıştır. Algarna çekimi yapılan istasyonlarda makrozoobentoz türler daha yoğun görülmektedir.



Şekil 3.74. 2016, 2019 ve 2021 yıllarına ait istasyonlara göre makrozoobentik türlerin bolluk ve biyokütle değerleri (kg/km²)



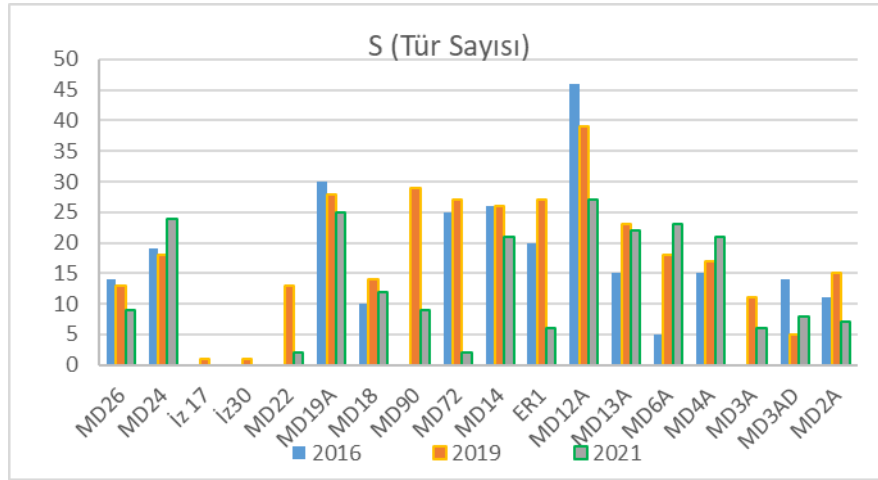
Şekil 3.75. İstasyonlara göre toplam makrozoobentik türlerin bolluk değerleri (adet/km²)



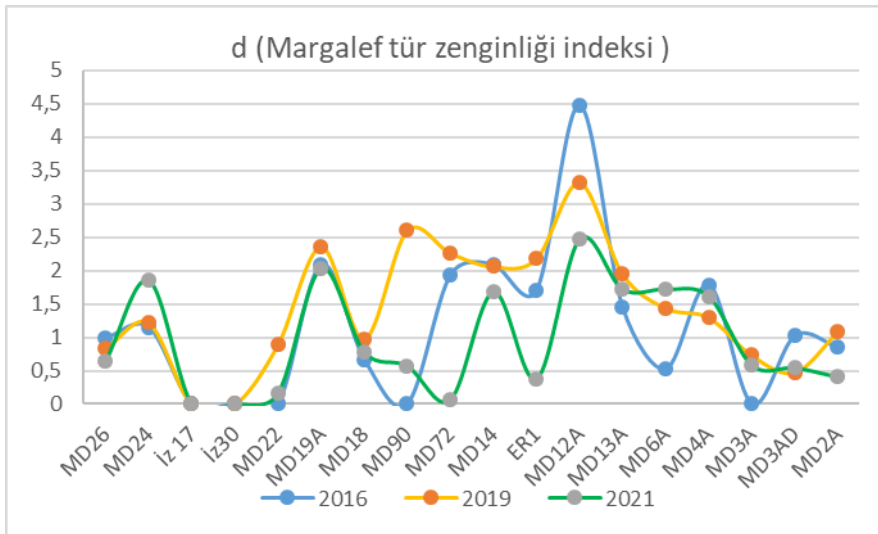
Şekil 3.76. İstasyonlara göre toplam makrozoobentik türlerin biyokütle değerleri (kg/km²)

İstasyonlarda gözlenen en yüksek tür sayısı 2016 yılında 46 iken, 2019 yılında 39 ve 2021 yılında ise 27 tür olmuştur. Tür sayısı, en yüksek Erdek Körfezi olmakla birlikte genel olarak güney şelfin, kuzey şelfe göre daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3.77). Çözünmüş oksijen değerlerinin düşük olduğu yerlerde tür sayıları da az bulunmuştur. Tür zenginliği indeks değerleri incelendiğinde, 2016 yılında değerler 0,52 ile 4,48 arasında iken, 2019 yılında 0,48 ile 3,32 ve 2021 yılında 0,17 ile 2,47 olduğu görülmektedir. Genel olarak 2021 yılında istasyonlardaki

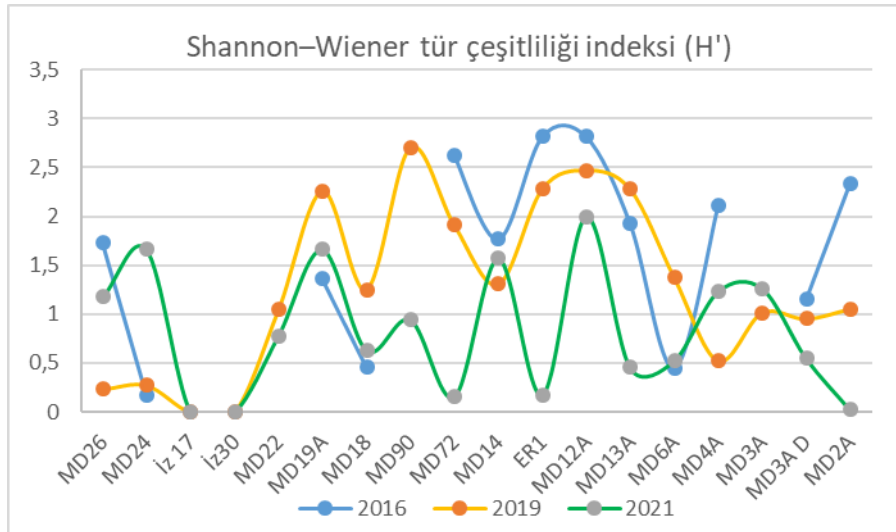
tür sayısı ve tür zenginliği indeks değerleri müsilaıdan dolayı düşüş göstermiştir (Şekil 3.78, Şekil 3.79). Bulunan indeks değerleri Wilhm ve Dorris (1966)'nin Shannon-Wiener tür çeşitliliği ve kirlilik durumu arasındaki ilişkiye göre değerlendirildiğinde çeşitlilik indeks 3'ün üzeri temiz su, 1-3 arası orta derece kirlenmiş su ve 1'in altı kirlenmiş su olarak sınıflandırılmaktadır. Buna göre; Erdek Körfezi ve Bandırma Körfezi orta derece kirlenmiş su ve diğer alanlar ise kirlenmiş su olarak tanımlanabilir.



Şekil 3.77. 2016, 2019 ve 2021 yıllarında araştırma istasyonlarda tespit edilen tür sayısı



Şekil 3.78. 2016, 2019 ve 2021 yıllarında araştırma istasyonlarda tespit edilen tür zenginliği



Şekil 3.79. 2016, 2019 ve 2019 yıllarında araştırma istasyonlarda tespit edilen tür çeşitliliği

Tespit Edilen Koruma Altındaki Türler

Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği (IUCN)'nin türlerin risk durumunu dikkate alarak ilan ettiği kırmızı listeye göre; Marmara Denizi'nde kritik tehlike

altında bir tür, nesli tükenmekte olan iki tür, hassas iki tür, tehlikeye yakın iki tür, düşük riskli 29 tür ve yetersiz verili iki tür bulunmaktadır (Tablo 3.10).

Tablo 3.10. Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği (IUCN) kırmızı listesine göre, Marmara Denizi'ndeki balık türlerinin durumları

IUCN Kırmızı Liste Sınıfı	Tür	Popülasyon Durumu
Kritik Tehlike Altında (CR)	<i>Oxynotus centrina</i>	Azalma
Nesli Tükenmekte Olan (EN)	<i>Echinorhinus brucus</i>	Azalma
	<i>Squalus acanthias</i>	Azalma
Hassas (VU)	<i>Dasyatis pastinaca</i>	Azalma
	<i>Merluccius merluccius</i>	Azalma
Tehlikeye Yakın (NT)	<i>Raja clavata</i>	Azalma
	<i>Platichthys flesus</i>	Azalma
Düşük Riskli (LC)	<i>Tetronarce nobiliana</i>	Durağan
	<i>Scyliorhinus canicula</i>	Durağan
	<i>Blennius ocellaris</i>	Bilinmiyor
	<i>Trachurus trachurus</i>	Durağan
	<i>Arnoglossus laterna</i>	Bilinmiyor
	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	Bilinmiyor
	<i>Callionymus lyra</i>	Bilinmiyor
	<i>Callionymus risso</i>	Durağan
	<i>Cepola macrophthalmia</i>	Bilinmiyor
	<i>Citharus linguatula</i>	Durağan
	<i>Spicara smaris</i>	Azalma
	<i>Merlangius merlangus</i>	Bilinmiyor
	<i>Gobius niger</i>	Durağan
	<i>Lesueurigobius friesii</i>	Bilinmiyor
	<i>Mullus barbatus barbatus</i>	Bilinmiyor
	<i>Serranus hepatus</i>	Durağan
	<i>Trachinus draco</i>	Durağan
	<i>Chelidonichthys lucerna</i>	Bilinmiyor
	<i>Eutrigla gurnardus</i>	Bilinmiyor
	<i>Lepidotrigla cavillone</i>	Bilinmiyor
	<i>Trigla lyra</i>	Bilinmiyor
	<i>Uranoscopus scaber</i>	Durağan
	<i>Syngnathus acus</i>	Bilinmiyor
	<i>Pagellus erythrinus</i>	Durağan
	<i>Helicolenus dactylopterus</i>	Bilinmiyor
	<i>Scomber japonicus</i>	Durağan
	<i>Lophius budegassa</i>	Bilinmiyor
	<i>Solea solea</i>	Durağan
	<i>Zeus faber</i>	Durağan
Yetersiz Verili (DD)	<i>Sprattus sprattus</i>	Bilinmiyor
	<i>Carapus acus</i>	Bilinmiyor

Marmara Denizi'nde Ağustos 2021 döneminde yapılan çalışma süresince, musilajlı yapı ile karşılaşılmasıdır. Elde ettiğimiz sonuçlar daha önceki çalışma dönemleri ile karşılaştırdığında; istasyonlardaki tür sayısı, Margalef tür zenginliği indeksi ve Shannon-Wiener tür çeşitlilik indeksi değerlerinde ciddi düşüşler görülmektedir. 2019 yılındaki çalışmada, makrozoobentik türler içinde görünme sıklığı en fazla olan türlerden olan *Aurelia aurita* (%100) türüne 2021 yılında canlı olarak rastlanılmamıştır. Bununla birlikte, üç araştırma döneminde hesaplanan makrozoobentik türlerin ortalama biyokütlesinde azalma görülmektedir. 2016 yılında ortalama makrozoobentik biyokütlesi 3518 ± 2849 kg/km², 2019 yılında 1748 ± 653 kg/km² ve 2021 yılında

ise 1203 ± 694 kg/km²'ye düşmüştür. Özellikle *L. depurator* (ortalama bolluk 2019 yılında 345 adet/km² ve 2021 yılında 43 adet/km²) ve *P. hererocarpus* (ortalama bolluk 2019 yılında 26046 adet/km² ve 2021 yılında 1521 adet/km²) türlerinin bolluğunda ciddi azalmalar tespit edilmiştir. Ayrıca, hesaplanan ortalama balık biyokütlesinde azalma olmamasına rağmen bazı türlerin (*M. merlangus*, *C. lucerna*, *M. b. barbatus*, *T. lyra*, *E. gurnardus* ve *S. sprattus*) biyokütle değerlerinde azalma bulunmaktadır. Makrozoobentik türlerin biyokütle değerlerindeki azalmasının musilajdan, balık türlerindeki biyokütle değerlerindeki azalmasının balıkçılık baskısından kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmektedir.

3.6 Kirleticiler

Kirleticiler, deniz ortamına girdikten sonra ekosistem üzerinde zararlı etkilere neden olabilen tehlikeli maddelerdir. Binlerce kimyasal madde potansiyel kirletici olarak sınıflandırılmaktadır ve denizlerimiz bu kirleticilere çeşitli kaynaklar ve yollarla maruz kalmaktadır. Bunlar arasında pestisitler, ağır metaller, farmasötikler ve kalıcı organik kirleticiler (KOK'lar) bulunmaktadır. Bu maddelerin hepsi toksiktir, kalıcıdır ve besin ağında birikebilir.

Avrupa'da, deniz ortamını korumayı ve Üye Devletler ile komşu ülkeleri bir araya getirmeyi amaçlayan dört Bölgesel Deniz Sözleşmesi bulunmaktadır. Bunlar, Akdeniz'in Kirlenmeye Karşı Korunması Sözleşmesi (Barselona Sözleşmesi), Karadeniz'in Kirliliğe Karşı Korunması Komisyonu (Karadeniz Komisyonu), Baltık Deniz Çevre Koruma Komisyonu (HELCOM) ve Kuzeydoğu Atlantik Deniz Çevresinin Korunması Komisyonu (OSPAR)'dur. MSFD bölgesel iş birliği çağrısında bulunurken, Bölgesel Deniz Sözleşmeleri, ilgili endişe verici kirleticilerin tanımlanması için eylem geliştirmektedir. Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (MSFD) (2008/56/EC), Avrupa Üye Devletlerinin İyi Çevre Durumuna (İÇD) ulaşmak için gerekli adımları

atmasını talep etmektedir. Tanımlayıcı 8 ve 9'a dikkat çeken MSFD'nin amacı, kirletici maddelerin miktarlarının kirlenme etkilerini arttırmayacak seviyelerde olmasını sağlamaktır. Bu dört sözleşme, Avrupa denizlerinde kontaminantların aşamalı olarak kaldırılması amacıyla deniz ortamına girdilerin önlenmesi ve azaltılması için kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır.

Bu bölümde, Deniz Strateji Çerçeve Direktifinin (DSÇD) T8 ve T9 İÇD tanımlayıcıları ele alınmaktadır. Her iki tanımlayıcıda da (T8 ve T9) kirlilik kaynakları (baskılar) benzerdir ve temel olarak çeşitli antropojenik faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Bunlar arasında kara kökenli endüstriyel faaliyetler, evsel kaynaklar (deniz deşarjları), gemilerden kaynaklanan kirlilik, atmosferik birikim, petrol, gaz ve madencilik arama ve operasyonları, tarama/bertaraf faaliyetleri ve nehir girdileri yer almaktadır. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan sentetik kimyasallar ve ağır metaller, deniz ekosistemleri için büyük ölçekli önemli bir risk oluşturmaktadır.

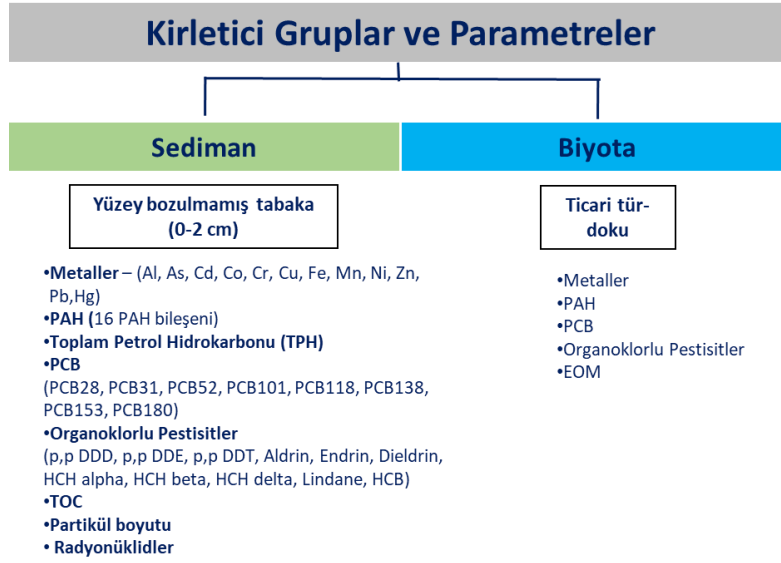
Sediman ve biyota matrislerinde çalışılan kirletici grupları Tablo 3.11'de sunulmuştur.

Değerlendirmelerde kullanılan kirletici göstergeleri:

- Sediman ve biyotada belirli kirleticilerin konsantrasyonları (IMAP/EO9: CI 17 & MSFD/D8C1*) ve seviyelerindeki zamansal değişimler
- Balık ve diğer deniz ürünlerindeki kirleticilerin seviyeleri ve yönetmeliklerdeki maksimum uyum seviyelerin aşılma durumu (IMAP/E9: CI 17,20 & MSFD/D9C1*)

* Bkz. EU 2917/848 ve DÇS Projesi (ÇŞB) İÇD hedef ve göstergeleri

Tablo 3.11. Değerlendirmede dikkate alınan kirleticiler



3.6.1 Sedimanda Kirleticiler

Kirleticiler deniz ortamına girer girmez, bazıları suda çözülürken, bazıları partikül maddeye adsorbe olarak su kolunundan çökerek sedimanda birikirler. Belirli koşullar altında, örneğin hipoksik olaylar veya diğer olaylar sırasında (örn. insanlardan kaynaklanan fiziksel faaliyetler, hava olayları vb.) su kolonuna yeniden girebilirler. Deniz tabanındaki sedimanlarda artan konsantrasyonlar, dipte yaşayan organizmaları kirleticilere maruz kalma konusunda daha yüksek bir risk altına sokar.

Kimyasal Kalite durum değerlendirmesinin bölgelere özgü referans koşullarını dikkate alarak yapılması önemlidir. Bu kapsamda özellikle sediman matrisindeki kontaminat konsantrasyonlarının doğal zemin değerler dikkate alınarak değerlendirilmesi (sentetik olmayan kontaminantlar için) gerekmektedir. Doğal zemin değerlerin belirlenmesinde karot örneklerinden yararlanılması, Baltık ve Akdeniz Bölgesel izleme programlarında (OSPAR ve UNEP MAP) temel alınarak, kullanılmaktadır. Denizlerimize özgü sediman referans değerlerinin belirlenmesi önemlidir. Bunun yanında sedimanda biriken kirleticilerin sucül ekosisteme olan olası etkilerini göz önüne alarak çeşitli araştırmacılar

tarafından farklı yaklaşımlar kullanılarak sediman kalite kılavuzları geliştirilmiştir (US EPA 1996; Smith ve diğ. 1996; Long ve Morgan 1990). DEN-İZ Programı kapsamında Akdeniz sedimanlarının kalite değerlendirilmesinde Düşük Etki Aralığı, (ERL: Effects Ranges Low) yaklaşımıyla belirlenmiş olan değerlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca sedimanda Alüminyuma göre normalize edilmiş metal derişimlerinin, referansa göre (şeyl ortalaması) değerlendirmeleri yapılmaktadır (zenginleşme faktörü: ZF).

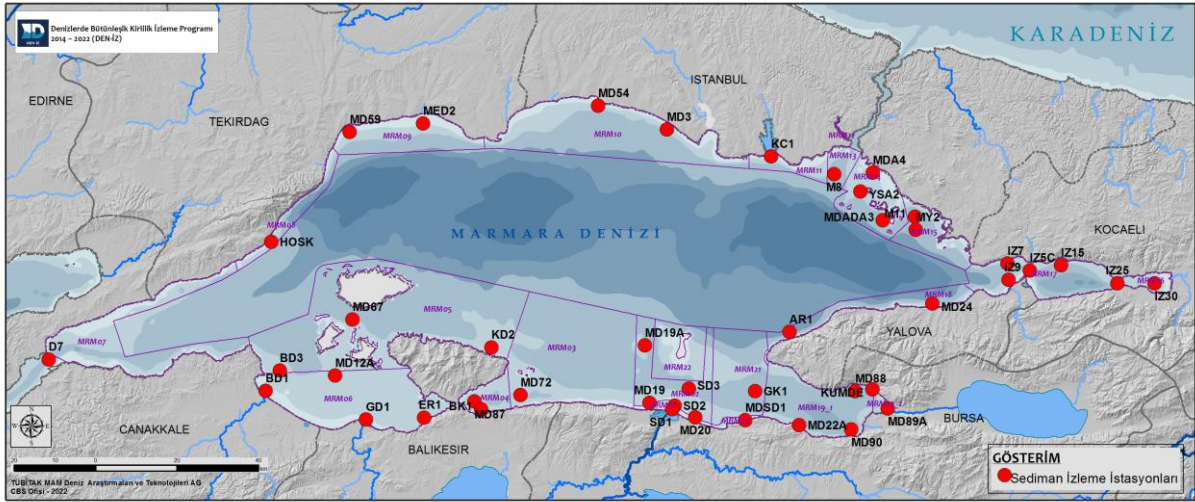
Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı kapsamında 2014-2016 yılları arasında 3 yıl boyunca yaz döneminde Marmara Denizi'nde 12 istasyonda yüzey sedimanında yönelim analiz çalışması yapılmıştır. 2016 yılında yönelim analizi yapılan istasyonlara ek olarak 15 ek istasyonda (toplam 27 istasyon) sediman kirliliğinin alansal yayılımı da çalışılmıştır. 2017-2022 dönemindeki çalışmalarda ise sedimanda kirletici çalışması 3 yılda bir kez olarak planlanmış 2018 ve 2021 yıllarında Marmara Denizi'nin kıyı ve deniz alanlarını ve bunlara referans oluşturması beklenen alanları temsilen 43 istasyondaki yüzey çökellerinden örneklemeler yapılmıştır.

2021 Yılı istasyon konumlarının yer aldığı harita Şekil 3.80’de yer almaktadır.

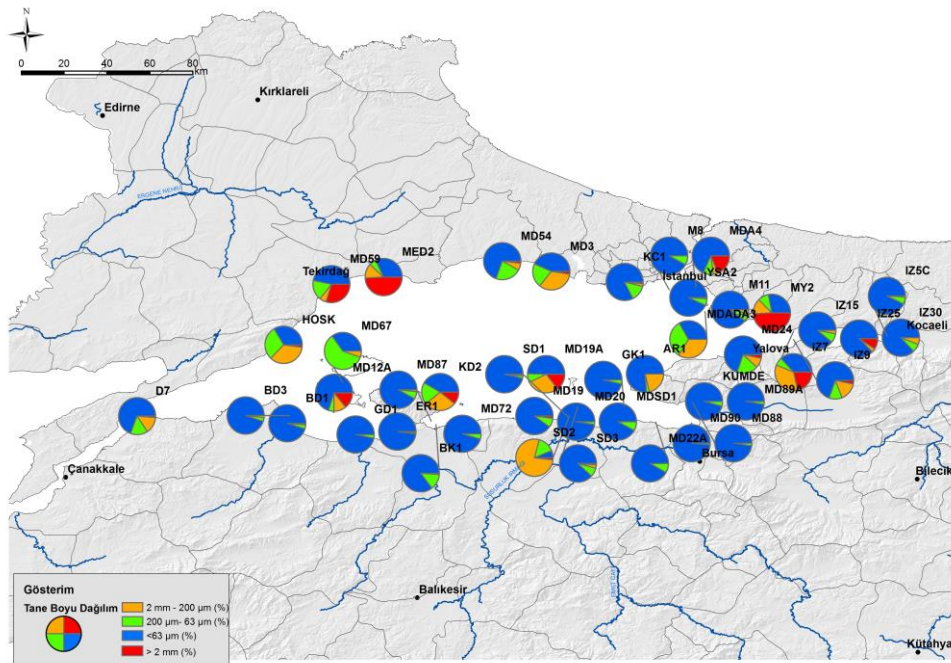
Sedimanlar, tane boyu dağılımı açısından çakıl, kum (kaba ve ince), silt ve kil olarak sınıflandırılırlar. Bunların sedimandaki ağırlık yüzdesine bakılarak Şekil 3.81’de gösterilen prensibe göre tüm yüzey sediman örneklerinin tane boyu dağılımları incelenmiştir. Buna göre, istasyonlar arası farklı tane boyu sınıflarının YK1, MED2 ve MY2 istasyonları çakıl; MDADA3,

MD3, MD67, HOSK, KD2, GK2, SD2 ve İZ7 istasyonlarının kum ağırlıklı bunların dışındakilerin çamur boyutunda olduğu söylenebilir. (Şekil 3.81).

Kontaminant analizleri için tane boyu etkisini minimize etmek amacıyla örneklerin çamur boyutundan örnekleme yapılmıştır.



Şekil 3.80. Marmara Denizi sediman örneklerinin tane boyu dağılım haritası (2021)

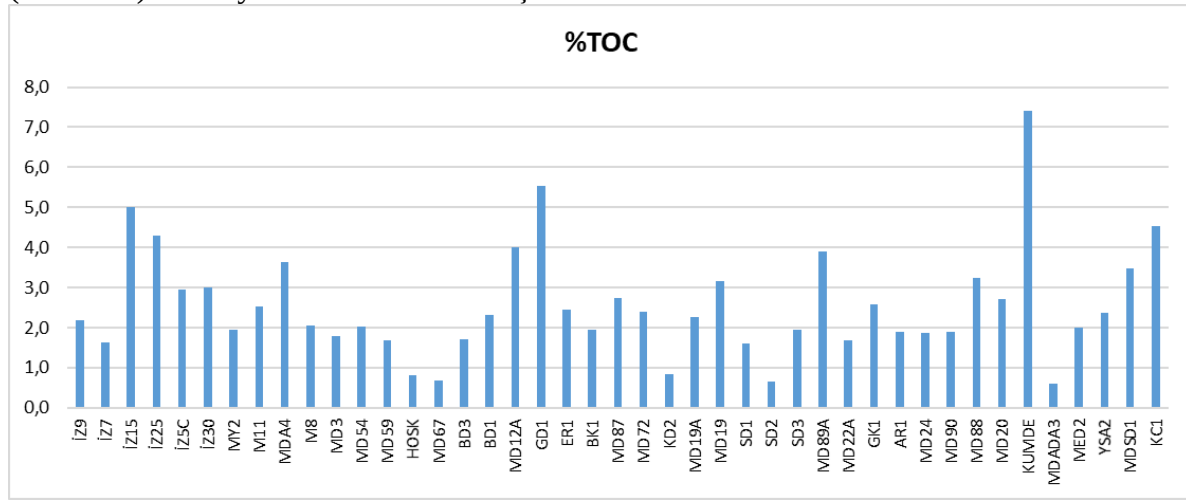


Şekil 3.81. Marmara Denizi sediman örneklerinin tane boyu dağılım haritası (2021)

Organik Kirleticiler

Organik karbon içeriği organik madde kirliliğini gösteren başlıca parametrelerden biridir. Bu birikim ince taneli malzemede daha fazladır. 2021 yılında alınan sediman örneklerinin ortalama toplam organik karbon (TOC) değeri %2,6 olduğu ve % 0,6 ile %7,4 arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek organik karbon içeriğine Gemlik'te bulunan Küçük Kumla (KUMDE) istasyonunda rastlanılmıştır.

Bunu yüksek seviyeleri ile Karabiga-Adalar-Erdek (GD1 – ort. %5,5), İzmit Körfezi (orta) örnekleri (İZ15 - ort. %5,0) ve Küçükçekmece (KC1 – ort. %4,5) izlemektedir. Marmara Adası güneyi (MD67), Prens Adaları (MDADA3) ve Susurluk nehri açığı (SD2) sedimanlarında en düşük organik karbon içerikleri görülmektedir (Şekil 3.82).



Şekil 3.82. Marmara Denizi yüzey sedimanlarında organik karbon yüzdeleri (2021)

Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH'lar), iki veya daha fazla bağlı aromatik halkadan oluşan organik bileşiklerdir. Genellikle yanma süreçleri sonucunda oluşurlar (pirolitik³), kömür veya çeşitli rafineri ürünleri (petrojenik⁴) kökenli olabilirler. Çevresel kirleticiler olarak bilinir ve bazıları kanserojen özellik gösterebilir (Dong vd., 2000; Connel vd., 1997). Kömür, petrol, sigara dumanı, egzoz gazları ve ızgara yiyeceklerde rastlanabilirler (Dong vd., 2000; Connel vd., 1997).

Tüm sediman istasyonlarında ölçülen Polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAH) ortalama, minimum ve maksimum değerleri Tablo 3.12'de yer almaktadır. İstasyon özelinde incelendiğinde 2021 yılında İzmit Körfezi'nde yer alan İZ15 nolu istasyonda Acenaphthylene ve Fluorene, İZ25 nolu istasyonda Fluorene ve Gemlik'te bulunan Küçük Kumla KUMDE istasyonunda Naphthalene değerleri ERL değerinin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Diğer tüm istasyonlarda tüm PAH bileşenleri ERL değerinin altındadır (Tablo 3.12). Tüm istasyonlarda toplam PAH dağılımları 55,84- 932,93 µg/kg kuru ağırlık aralığında değiştiği gözlenmektedir. İstasyonlar arasında en yüksek değerler İzmit Körfezi (İZ15 ve İZ25), İstanbul Boğazı girişi (M8) ve Adalar bölgesi'nde (MDA4) ölçülmüştür.

³ Pirolitik Kaynaklar: Organik maddelerin (odun, kömür, petrol ürünleri, biyokütle, çöp vb.) yüksek sıcaklıkta eksik yanması (piroliz) sonucu oluşurlar.

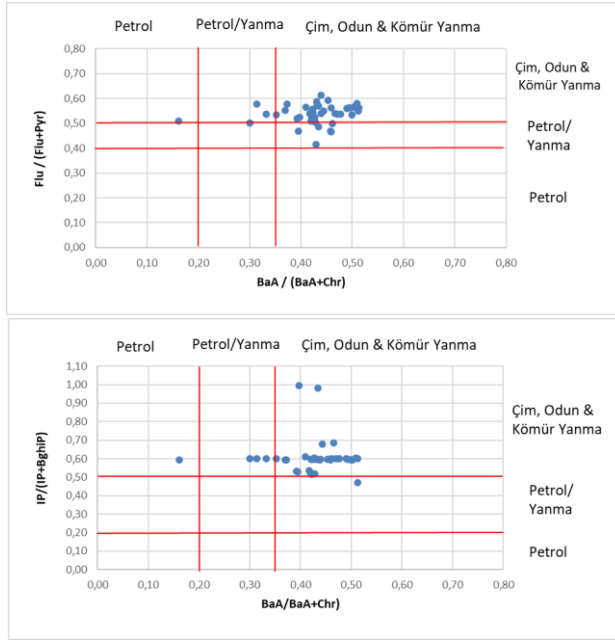
⁴ Petrojenik Kaynaklar: Doğrudan ham petrol, rafine edilmiş petrol ürünleri (benzin, dizel, motor yağı vb.) veya kömür katranı gibi fosil yakıtlardan kaynaklanırlar. Bunlar yanma olmadan çevreye salınırlar.

Tablo 3.12. Marmara Denizi sedimanlarının minimum, maksimum ve ortalama PAH konsantrasyonları ile ekosistem açısından etki sınır değerleri ile karşılaştırılması (ERL,ERM)

PAH'lar	DEN-İZ (2020-2022)			ERL (µg/kg ka.)	ERM
	Minimum (µg/kg ka.)	Maksimum (µg/kg ka.)	Ortalama Değer (µg/kg ka.)		
Naphthalene	0,00	160,35	39,06	160	2100
Acenaphthylene	0,27	158,06	7,99	44	640
Acenaphthene	0,00	7,38	1,66	16	500
Fluorene	0,81	37,80	5,55	19	540
Phenanthrene	9,32	126,78	48,58	240	1500
Anthracene	0,81	44,55	7,99	85,3	1100
LMW (2-3 rings)	12,90	421,15	110,84	552	3160
Fluoranthene	7,36	109,30	38,26	600	5100
Pyrene	5,97	99,09	33,94	665	2600
Benzo_a_anthracene	1,11	54,75	17,92	261	1600
Chrysene+triphenylene	3,39	78,49	21,96	384	2800
Benzo_b_fluoranthene	3,01	139,80	41,80	-	-
Benzo_k_fluoranthene	1,41	49,64	19,42	-	-
Benzo_a_pyrene	1,69	85,90	28,01	430	1600
Indeno_1_2_3_c_d_pyrene	1,99	77,02	27,69	-	-
Dibenzo_a_h_anthracene	0,36	18,50	5,75	63,4	260
Benzo_g_h_i_perylene	0,35	46,46	17,70	-	-
HMW (4-5-6 rings)	33,25	672,26	252,46	1700	9600
ΣPAHs	55,84	932,93	363,30	4022	44792

Marmara Denizi'nde toplanan yüzey sediman örneklerinde bazı PAH bileşenlerinin oranları incelendiğinde çoğunlukla pirolitik (yanma sonucu açığa çıkan) bir kaynağa işaret etmektedir (Şekil 3.83). LMW ve HMW bileşiklerinin karşılaştırılmasında, PAH'lar tarafından petrojenik ve pirolitik kirlenmeyi ayırt etmek için kullanılabilir (Perra vd., 2011).

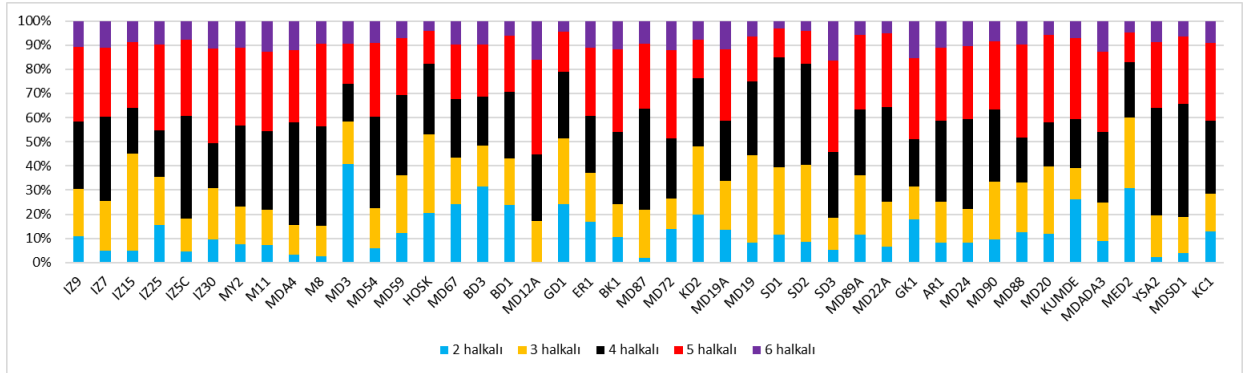
Marmara sedimanlarında LMW/HMW oranlarının çoğu 1'in altındadır ve bu da pirolitik bir kaynağa işaret etmektedir. Tekirdağ - Kıyı (MD3), Hoşköy (HOSK), Gönen çayı önleri (GD1), Marmara Ereğlisi (MED2) istasyonlarında LMW/HMW oranı 1'in üzerinde olup , petrojenik kaynağı işaret etmektedir (Şekil 3.84).



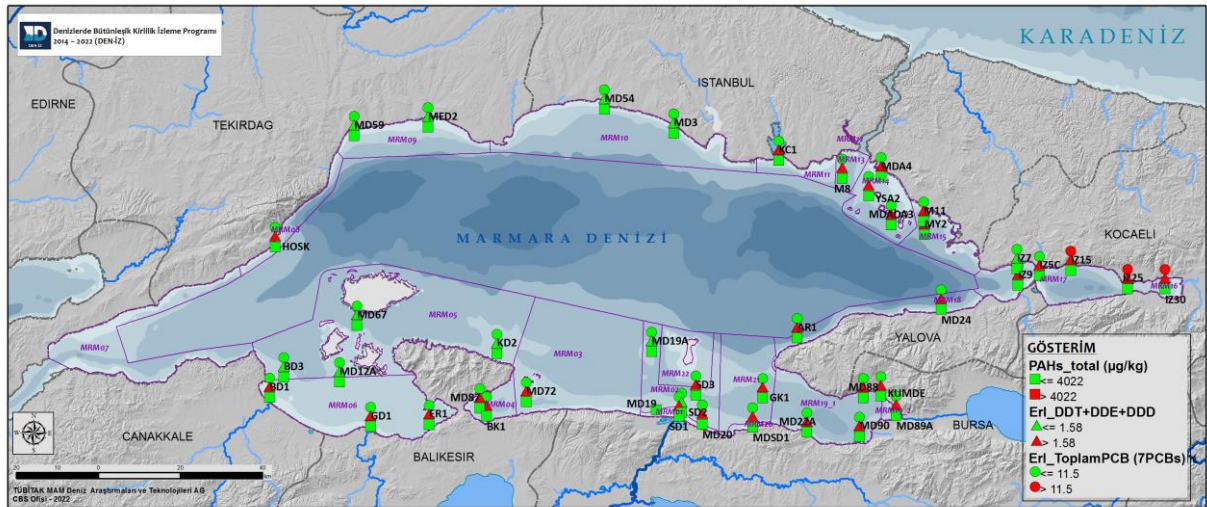
	Flu/(Flu+Pyr)	BaA/(BaA + Chr)	IP / (IP + BghiP)
Pirolitik kökenli	>0,5	>0,35	>0,5
Petrojenik kökenli	<0,4	<0,2	<0,2
Referans	Furtada vd. 2025; Yunker vd. 2002; Ravindra vd. 2008; Tobiszewski ve Namiesnik 2002; Shen vd. 2024		

Flu: Fluoranthene, Pyr: Pyrene, BaA: Benzo(a)anthracene, Chr: Chrysene, IP: Indo (1,2,3-cd) Pyrene, BghiP: Benzo (g, h, i) Perylene

Şekil 3.83. Marmara Denizi sedimanlarında PAH kaynaklarını gösteren PAH'ların izomerik oranlarının çapraz çizimleri



Şekil 3.84. Marmara Denizi sediman örneklerinin 2-3-4-5-6 halkalı PAH'ların mekânsal dağılımı (LMW:2-3 halkalı; HMW:4-5-6 halkalı)



Şekil 3.85. Marmara Denizi sediman istasyonlarında organik kirletici (Toplam PAH, Toplam DDT ve türevleri ile Toplam PCB) bulgularının ERL değerlendirmesi ile kalite sınıflandırması

Marmara Denizi'nde 2021 yılında ölçümü yapılan tüm yüzey sedimanlarında poliklorlu bifenillerin (PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB138, PCB153 ve PCB180 (ICES-7) toplamı incelendiğinde 0,085-20,713 (ng/g kuru ağırlık) aralığında ölçüldüğü belirlenmiştir. Tüm sedimanlarda ERL değerinin (11,50 ng/g) altında toplam PCB değeri bulunmuştur. Sadece Türkiye'nin en büyük sanayi bölgeleri'nden biri olan İzmit Körfezi'nde İZ15, İZ25 ve İZ30 nolu istasyonlarda ERL değeri üzerinde toplam PCB ölçülmüştür (Şekil 3.85).

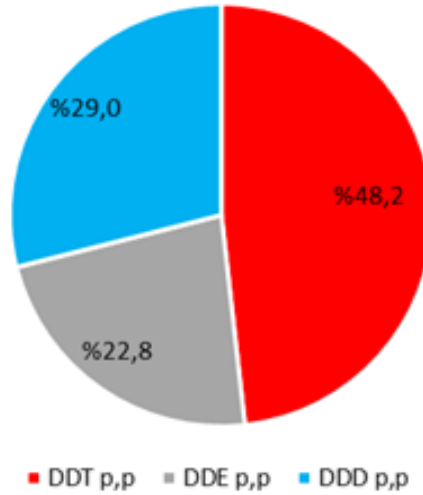
Diklorodifeniltrikloroetan (DDT), heksaklorosikloheksan (HCH), aldrin ve klordan gibi OCP'ler 1950'lerden 1980'lere kadar özellikle tarımda yaygın olarak kullanılmıştır.

DDT'nin kullanımı 1985 yılında tamamen yasaklanmış olup deniz suyunda ölçüm sınırlarının altında gözlenmekte, ancak

organizma ve sedimanda bazı bölgelerde hala ölçüm sınırlarının üzerinde bulunmaktadır. Marmara Denizi sedimanlarında en yüksek DDT ve türevleri toplamı İzmit Körfezi'nde İZ30, İZ15, İZ25 ve İZ5C, Adalar bölgesinde MDA4, Gemlik Körfezi'nde bulunan MD89A, MD88, KUMDE ve MD22A, Susurluk doğusunda bulunan MD20 nolu istasyonlarda gözlenmiştir (Şekil 3.85).

Aerobik koşullar altında, p,p'-DDT tipik olarak p,p'-DDE'ye dönüşürken, anaerobik koşullarda mikrobiyal aracılık yoluyla p,p'-DDD'ye dönüşür (Da C., ve diğ., 2013). Marmara Denizi sediman örneklerinde saptanan DDT türevlerinin ortalama bileşimlerine bakıldığında 48,2% ile p,p'-DDT baskındır. Bunu 29,0% p,p'-DDD ve 22,8% p,p'-DDE takip etmektedir. (Şekil 3.86).

DDT Türevlerinin % Dağılımı

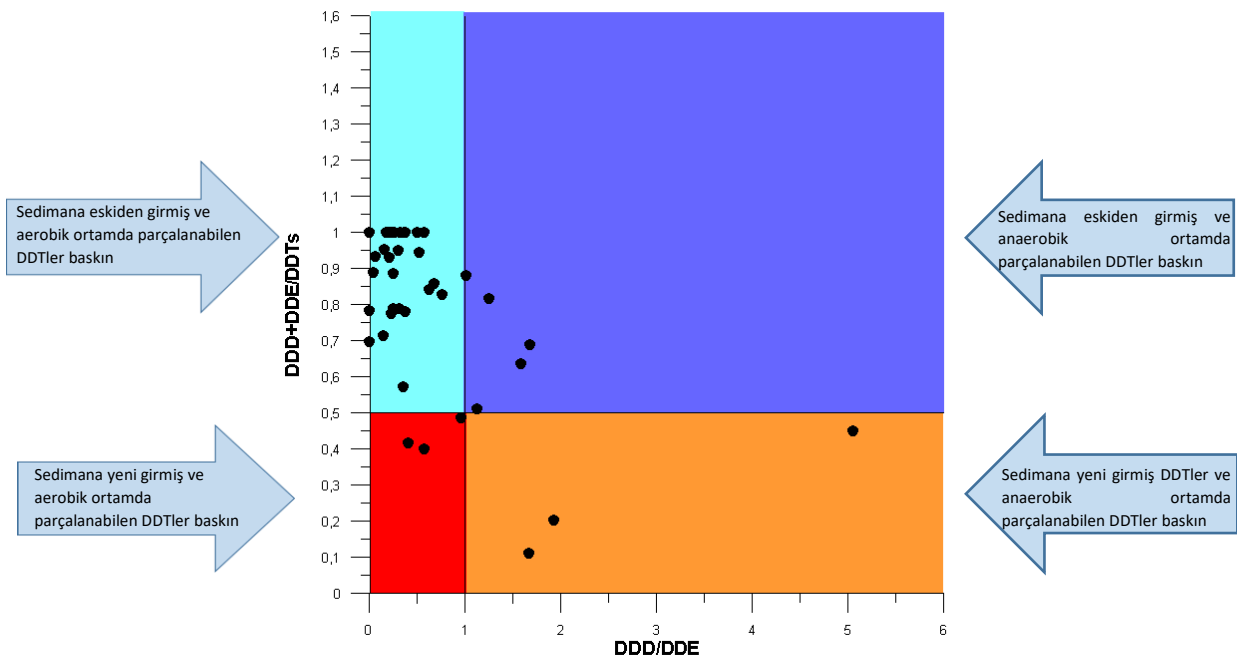


Şekil 3.86. Marmara Denizi sedimanlarında DDT ve türevlerinin % dağılımı

Ayrıca DDT'lerin “yeni” veya “eski” kirlilik kaynakları $(DDD+DDE)/\sum DDT$ lerin oranı ile ayırt edilmektedir. 0,5'ten daha yüksek $(DDD+DDE)/\sum DDT$ lerin oranı, DDT'lerin tarihsel bozulmadan kaynaklandığını göstermektedir. 0,5'ten düşük oran yeni DDT girişinin gerçekleştiğini göstermektedir (Da C., vd., 2013). Bu çalışmada sediman örnekleme yapılan tüm istasyonların $(DDE+DDD)/\sum DDT$ oranları incelendiğinde istasyonların %13,6'sında

oranın 0,5'in altında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.87). Bu da birçok istasyonda tarihsel DDT'nin bozulmadan kaynaklı olduğunu gösterir. Bunun yanında hala DDT'lerin baskın olduğu istasyonlar mevcut olup, izleme çalışmalarının belirli dönem ve aralıklarla devam ettirilerek DDT'lerin yeni giriş yapıp yapmadığı veya DDT'nin tarihsel bozulmadan kaynaklı olarak DDE ve DDD'ye biyolojik olarak parçalanmaları takip edilmelidir.

Yüzey sedimanlarında DDT türevlerinin oran ilişkisi



Şekil 3.87. Marmara Denizi yüzey sedimanlarında DDT ve türevlerinin oran ilişkisi

Diğer ölçülen pestisit değerlerine bakıldığında, Hekzaklorobenzen (HCB) ise 0,051-6,47 ng/g ka aralığında ölçülmüştür. En yüksek HCB değerleri Silivri (MD54), Biga deresi önleri (BD1) ve Yalova (MD24) nolu istasyonlarda belirlenmiştir.

a-HCH <ösa-1,87 ng/g ka., b-HCH <ösa-2,18 ng/g ka., d-HCH <ösa-0,59 ng/g ka. aralığında ölçülmüştür. g-HCH (lindane) sadece İzmit Körfezi'nde çok düşük değerlerde ölçülmüş, diğer istasyonlarda cihaz ölçüm sınırlarının altında (<ösa) kalmıştır. Marmara Denizi sedimanlarında HCH izomerleri arasında en yüksek b-HCH ölçülmüştür. Bu durum b-HCH'in

düşük buhar basıncı ve diğerlerine göre daha az parçalanabilir özelliği ile açıklanabilir (Da C., ve diğ., 2013). a-HCH ve g-HCH nispeten yüksek buhar basınçlarından dolayı daha uçucudur ve sedimanlarda kolayca kaybolur.

Aldrin, Dieldrin, Endrin ve Heptaklor tüm istasyonlarda ölçüm sınırlarının altında tespit edilmiştir.

Anorganik Kirleticiler (Metaller)

Marmara Denizi sediman örneklerinin metal içeriklerinin referansa (ZF) ve ekosisteme etki sınır değerlerine (sucul organizmalara düşük - orta etki düzeyleri: ERL-ERM değerleri) göre durumunu yansıtan dağılım haritaları Şekil 3.90 ve Şekil 3.89'da yer almaktadır.

Prens Adaları (MDADA3), Marmara Ereğlisi (MED2) ve Kapıdağ Yarımadası Kuzeydoğusu (KD2) dışındaki tüm istasyonlarda arsenik değerleri ERL seviyesinin üstünde ölçülmüştür.

Kadmiyum içeriği genel olarak ERL değerinin oldukça altındadır. Fakat İzmit Orta Körfez (İZ15 ve İZ25), Küçükçekmece (KC1), Bandırma Körfezi (BK1) ve Bursa Bayramdere'de (MD19) ERL seviyesinin üzerinde değerlerin görüldüğü tespit edilmiştir.

Krom içerikleri açısından ERM seviyesinin oldukça üstündeki değeri (534 mg/kg) ile dikkat çeken istasyon Gönen Çayı (GD1)

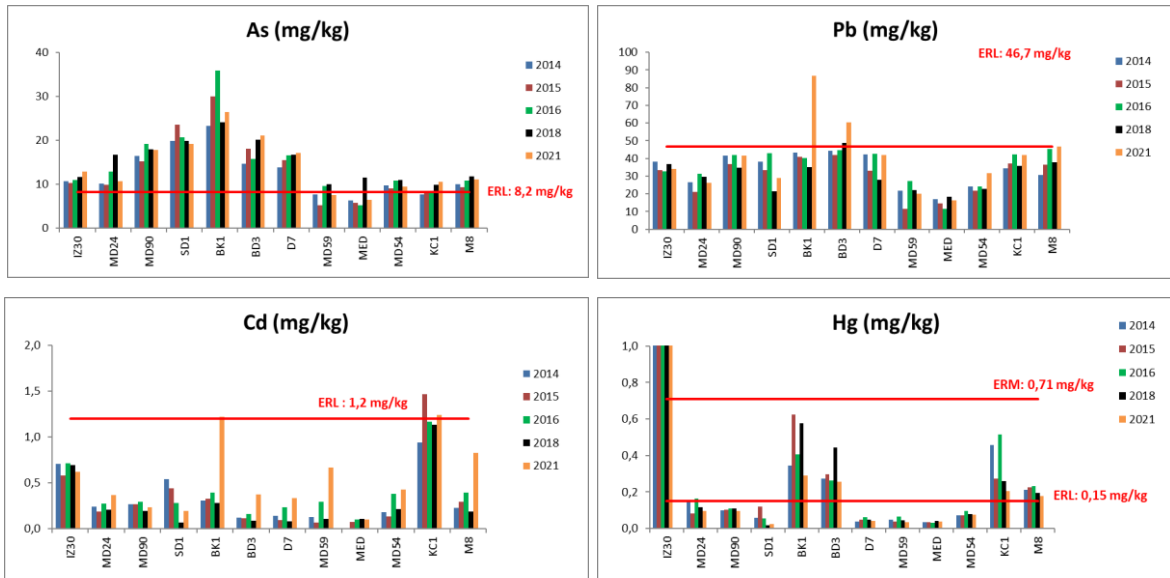
dır. Bunu, Bursa Bayramdere (MD19), Susurluk nehrinin doğusu (MD20) ve Mudanyanın batı kıyısı (MDS1) istasyonları izlemektedir.

Cıva içerikleri İzmit Orta-İç Körfez istasyonlarında (İZ15, İZ25, İZ5C ve İZ30), ERM seviyesinin oldukça üstündeki değerleriyle dikkat çekmektedir.

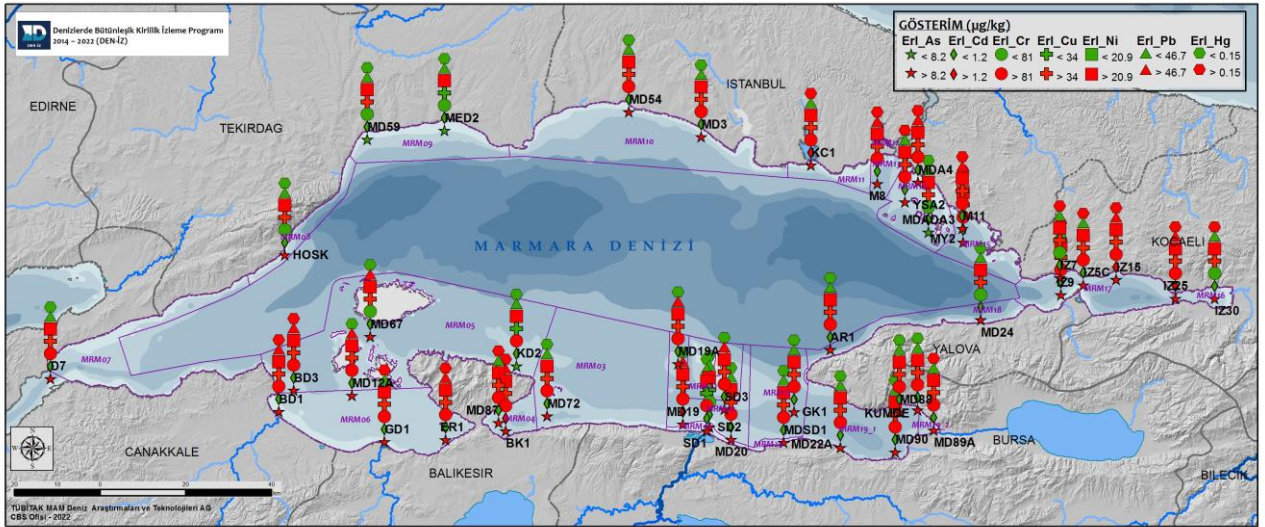
Bakır seviyeleri, birkaç istasyon (SD1, SD2, KD2, MED2) hariç genel olarak ERL seviyelerinin üstündedir. Ancak ERM seviyesine yaklaşan 236 mg/kg bakır içeriği ile Küçük Çekmece (KC1) istasyonu dikkat çekmektedir.

Kurşun içerikleri Bandırma Körfezi (BK1-105 mg/kg) ve Erdek Körfezi (ER1-91 mg/kg) istasyonlarında ERL seviyesinin üzerinde dikkat çekicidir.

Genel olarak bakıldığında 2021 yılında 2014-2018 yıllarına benzer şekilde metallerin zenginleştiği gözlenmektedir (Şekil 3.88 ve Şekil 3.90).



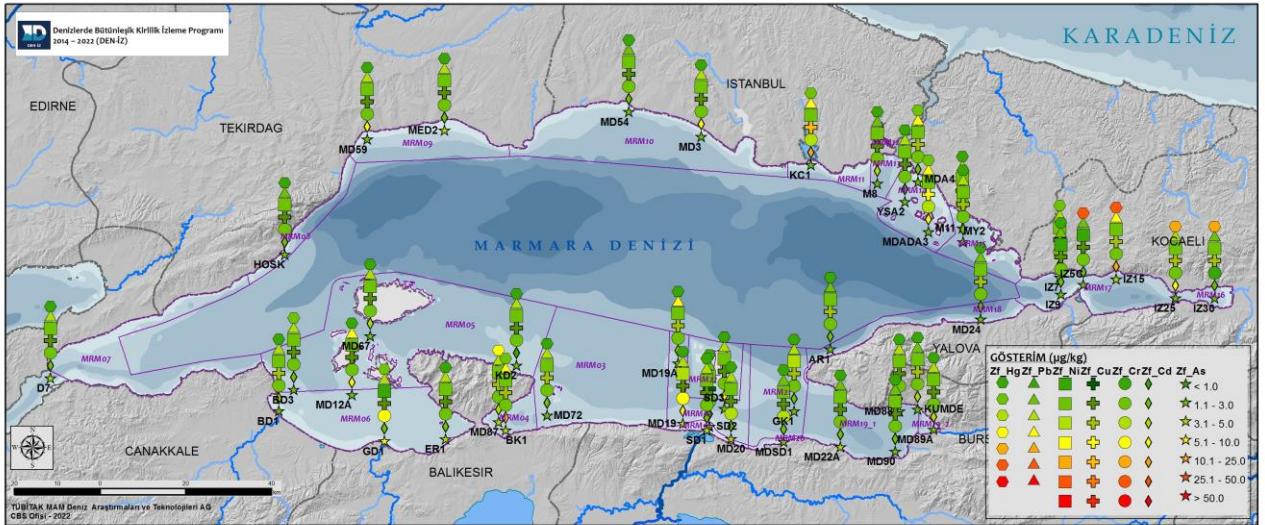
Şekil 3.88. Marmara Denizi sediman yönelim istasyonlarında metallerin yıllara göre değişimi (2014-2021)



Şekil 3.89. Marmara Denizi sediman istasyonlarında metal bulgularının ERL değerlendirmesi ile kalite sınıflandırması (2021)

2021 yılı sedimanlarının zenginleşme faktörlerinin dağılımına genel olarak bakıldığında, “az seviyede zenginleşme” olduğu görülmektedir. İzmit Körfezi iç ve orta istasyonlarında (İZ15, İZ25 ve İZ30)

cıva zenginleşmesi dikkat çekmektedir. Küçükçekmece (KC1) istasyonunda ise, kadmiyum, bakır ve çinko içeriklerinin zenginleştiği tespit edilmiştir (Şekil 3.90).



Şekil 3.90. Marmara Denizi sediman istasyonlarında metal bulgularının ZF değerlendirmesi ile kalite sınıflandırması (2021)

3.6.2 Biyotada Kirleticiler

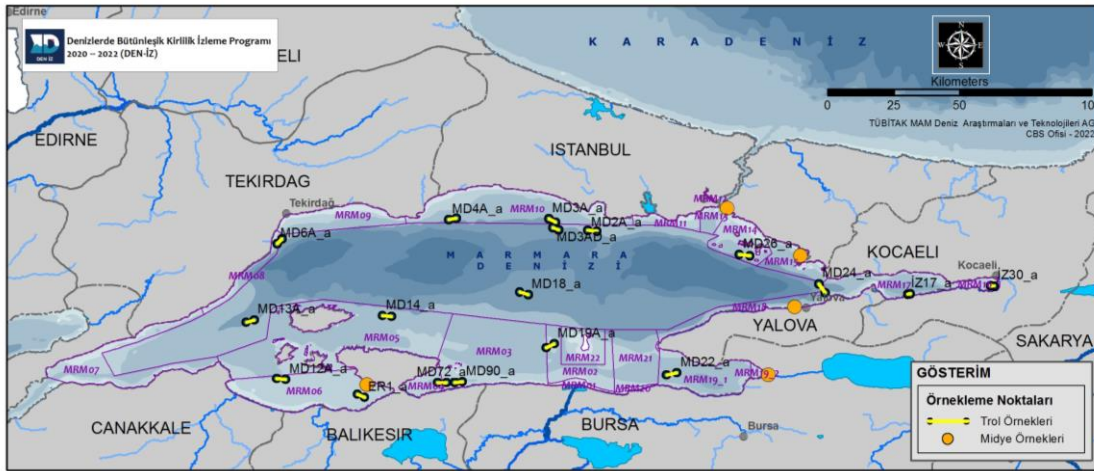
Kirleticilerin deniz ortamında uzun süre kalması, biyolojik olarak parçalanamaması ve canlı dokularında birikmesi önemli bir risk oluşturmaktadır. Midyeler gibi filtreleyici organizmalar, kirleticileri dokularında biriktirerek yüksek seviyelere ulaşmasına neden olabilir. Kirleticiler besin zincirinde biyobirikim gösterebilir. Belirli seviyelerin üzerindeki kontaminasyon, biyoçeşitlilik kaybı gibi ekolojik zararlara yol açabilir. Kirleticilerin balık ve diğer deniz ürünlerinde, kabul edilen seviyenin üzerindeki varlığı hem halk sağlığını hem de deniz ürünleri üzerinden beslenen diğer canlıları olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle, ekosistem ve halk sağlığının korunması için deniz biyotasındaki kirleticiler seviyelerinin izlenmesi büyük önem taşımaktadır.

AB Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifinin (DSÇD) “İyi Çevresel Durum” (İÇD)

tanımlayıcılarından olan T9 “Deniz Ürünlerindeki Kontaminantlar” tanımlayıcısına göre, insani tüketim amaçlı deniz ürünlerindeki kirleticiler miktarı, ulusal mevzuatta ve uluslararası standartlarda (EU Priority Pollutants Directive Annex1 (2013/39/EU) belirlenen sınırların üzerinde olamaz (Cardosa ve diğ., 2010).

DSÇD T8 tanımlayıcısında ise biyotadaki kirleticiler konsantrasyonlarının “kirlilik etkileri yaratmayacak düzeyde olması” istenir. Bu nedenle biyotada kirlilik durum değerlendirmesi her iki tanımlayıcı için yapılmıştır.

DEN-İZ Programı kapsamında biyota matriksinde elde edilen sonuçlar deniz ve su ürünlerindeki bulaşanların Türk Gıda Kodeksindeki (TGK) (AB Direktifleri ile uyumlu) sınır değerler ile karşılaştırılmaktadır.



Şekil 3.91. Marmara Denizi 2019 yılı biyota örnekleme istasyonları

2014-2022 yıllarında Marmara Denizi’nde, Haydarpaşa, Tuzla, Yalova, Gemlik ve Erdek kıyı alanlarında midyede (*Mytilus galloprovincialis*) kirleticiler çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.91).

Midye çalışmasına ek olarak, Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı kapsamında, 2021 yılı güz döneminde biyota’da kirleticiler çalışmalarında Marmara Denizi’nde 10 farklı alandaki 13 trol istasyon

çalışmasında hem ticari ve çevresel önemi hem de denizdeki mekânsal dağılımı nedeniyle berlam, mezgit ve barbut balıkları seçilmiştir.

Trol çekimi ile örneklenen balıkların filetoları alınarak çalışma yapılmıştır. Tüm biyota numuneleri aynı boy grubunda 3 replike olacak şekilde kompozit örnekler hazırlanmıştır.

Tablo 3.13 Balık filetosunda ölçülen parametrelerin Türk Gıda Kodeksi (TGK) değerleriyle karşılaştırılması

Bölge	İstasyon Kodu	Tür Adı	Cd (µg/g ya.)	Pb (µg/g ya.)	Hg (µg/g ya.)	Benzo(a)piren (ng/g ya.)	Benzo(a)piren, benzo(a)anthrasen, benzo(b)floranthen ve krisen toplamı (ng/g ya.)	PCB28, PCB31, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 ve PCB180 (ICES-7) toplamı (ng/g ya.)
Büyükçekmece açıkları	MD3A	Berlam (<i>Merluccius merluccius</i>)	0,002	0,026	0,216	0,025	0,201	12,237
	MD3AD	Berlam (<i>Merluccius merluccius</i>)	0,003	0,050	0,172	0,036	0,187	7,388
Silivri-Ereğli arası	MD4A	Berlam (<i>Merluccius merluccius</i>)	0,003	0,035	0,170	0,017	0,188	7,906
Tekirdağ açıkları	MD6A	Berlam (<i>Merluccius merluccius</i>)	0,001	0,027	0,210	0,016	0,096	8,160
Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi	MD12A	Barbun (<i>Mullus barbatus</i>)	0,003	0,072	0,562	0,019	0,126	3,421
	MD12A	Berlam (<i>Merluccius merluccius</i>)	0,001	0,027	0,311	0,033	0,229	6,813
Tekirdağ - Marmara Adası Arası	MD13A	Berlam (<i>Merluccius merluccius</i>)	0,001	0,028	0,286	0,024	0,347	8,898
Marmara Merkez Güney	MD14	Berlam (<i>Merluccius merluccius</i>)	0,001	0,033	0,192	0,012	0,174	5,403
Bursa Bayramdere açıkları	MD19A	Barbun (<i>Mullus barbatus</i>)	0,002	0,041	0,164	0,027	0,351	5,595
	MD19A	Berlam (<i>Merluccius merluccius</i>)	0,002	0,044	0,094	0,012	0,122	5,580
Yalova - Kıyı	MD24	Berlam (<i>Merluccius merluccius</i>)	0,002	0,022	0,203	0,045	0,337	6,888
Adalar Bölgesi	MD26	Berlam (<i>Merluccius merluccius</i>)	0,001	0,045	0,133	0,033	0,296	13,168
Susurluk	Susurluk	Barbun (<i>Mullus barbatus</i>)	0,002	0,047	0,145	0,043	0,546	3,636
Marmara Denizi Ortalama			0,002	0,038	0,220	0,026	0,246	7,315
Türk Gıda Kodeksi			0,050	0,300	1,000	2,000	12,000	75,000

ya.:yaş ağırlık

Biyotada metal kirliliği

Deniz organizmaları, çevrelerindeki değişken metal konsantrasyonlarına sürekli maruz kalmaktadır. Yapılan birçok araştırma, sucul sistemlerde bulunan metallerin organizmalar üzerinde toksik etkilere yol açabileceğini göstermektedir. Özellikle ağır metallerden arsenik, inorganik formlarında yüksek derecede toksik etki gösterirken, organik formlarının büyük çoğunluğu nispeten zararsızdır. Deniz canlıları ise arseniğin organik bileşiklerinin başlıca kaynağıdır (Cullen ve Reimer, 1989; Francesconi ve Kuehnelt, 2004; Kalia, K. ve Khambh).

Marmara Denizi'nde 2021 yılında toplanan tüm biyota örneklerindeki yaş ağırlık olarak (ya.) ortalama metal derişimleri;

Midye (*Mytilus galloprovincialis*) örneklerinde; arsenik 1,52-2,48 µg/g ya., kadmiyum 0,100-0,674 µg/g ya., krom 0,145-0,666 µg/g ya., kurşun 0,183-0,485 µg/g ya., çinko 40,8-60,2 µg/g ya., civa 0,005-0,018 µg/g ya. arasında tespit edilmiştir.

Barbun (*Mullus barbatus*) örneklerinde; arsenik 4,10-8,01 µg/g ya., kadmiyum 0,002-0,003 µg/g ya., kobalt 0,008-0,010 µg/g ya., krom 0,041-0,064 µg/g ya., demir 5,00-10,58 µg/g ya., manganez 0,235-0,407 µg/g ya., nikel 0,030-0,057 µg/g ya., kurşun 0,041-0,072 µg/g ya., çinko 7,96-12,04 µg/g ya., civa 0,14-0,56 µg/g ya. arasında tespit edilmiştir.

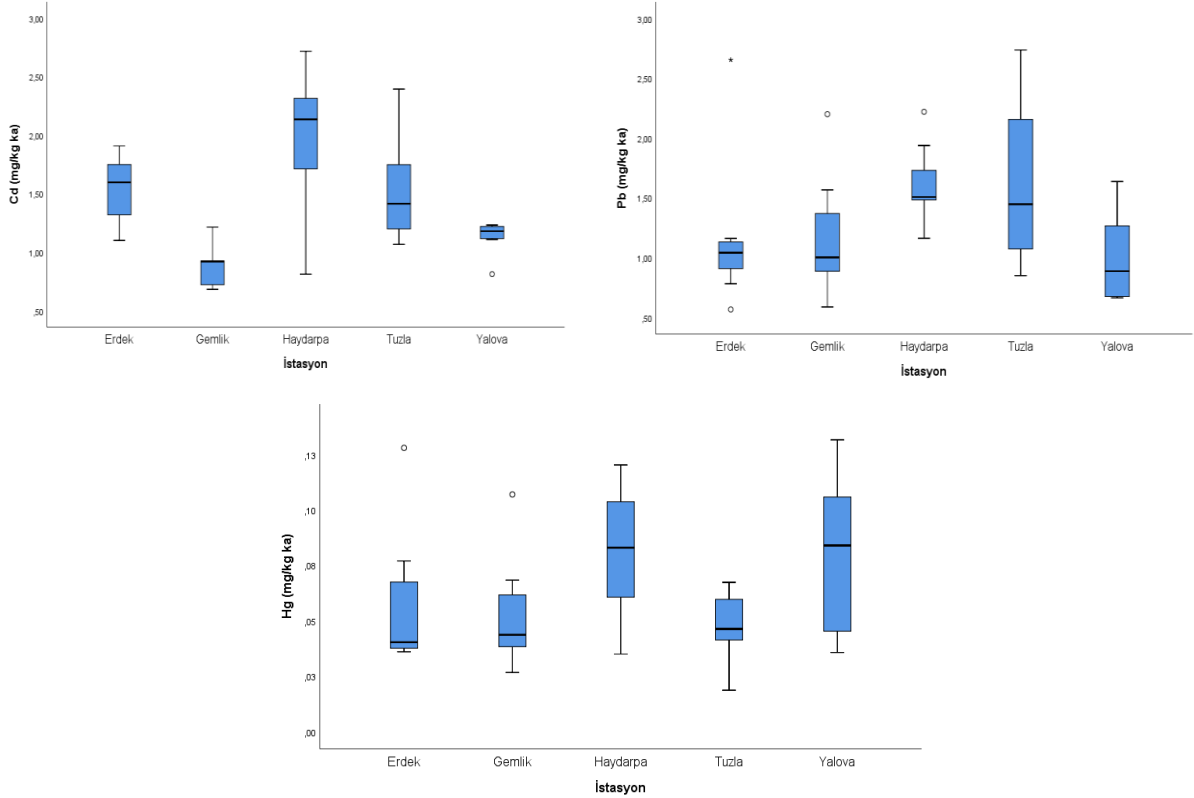
Berlam (*Merluccius merluccius*): örneklerinde ise arsenik 2,90-6,60 µg/g

ya., kadmiyum 0,001-0,003 µg/g ya., kobalt 0,008-0,010 µg/g ya., krom 0,041-0,064 µg/g ya., demir 5,00-10,58 µg/g ya., manganez 0,235-0,407 µg/g ya., nikel 0,030-0,057 µg/g ya., kurşun 0,041-0,072 µg/g ya., çinko 7,96-12,04 µg/g ya., civa 0,14-0,56 µg/g ya. arasında tespit edilmiştir.

Türler arası farklılıklara ilişkin olarak, midye numuneleri kadmiyum, kurşun ve krom için daha yüksek biyoakümülyasyon kapasitesine sahipken, diğer yumuşakçalara kıyasla civa seviyeleri azalmıştır. Sonuçlar karşılaştırılırken midye örneklerinin kıydan, balık örneklerinin trolle kıydan biraz daha açıktan örneklendiği unutulmamalıdır.

Analizi gerçekleştirilen Marmara Denizi biyota örneklerinin (berlam, barbun ve midye) tamamındaki metal içerikleri Cd, Pb ve Hg açısından Türk Gıda Kodeksi'nde yer alan sınır değerlerin altında kalmıştır (Tablo 3.13).

Bu çalışmanın asıl amacı ise kirlletici seviyelerinin organizmada zamana karşı değişimini ve yönelimi bulabilmektir. 2014-2022 döneminde her yıl çalışılan midye (*M. galloprovincialis*) örneklerindeki metal seviyeleri kuru ağırlık üzerinden Şekil 3.92'da verilmiştir. Midye istasyonlarında yönelim gözlenmemiştir.



Şekil 3.92. 2014-2022 yılı arasında midye’de ağır metal parametrelerinin değişimi
(° aykırı değer, *ekstrem değer)

Biyotada organik kirleticiler

Deniz ortamına taşınan petrol hidrokarbonları, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler sonucunda, bu bileşiklerin önemli bir fraksiyonu atmosferik koşullara bağlı olarak hızla buharlaşarak ortamdaki uzaklaşırken, geri kalan kısmı su kolonunda çözünme, emülsifikasyon ve adsorpsiyon gibi süreçler yoluyla dağılım gösterir. Zamanla, bu bileşikler sedimanlara çökerek birikebilir ve uzun vadede bentik ekosistemler üzerinde kalıcı etkiler oluşturabilir. Ayrıca, çözünmüş veya partiküllere bağlı formları yoluyla trofik transfer gerçekleşerek biyotada birikim gösterebilir (Chouksey ve ark., 2004).

Petrol hidrokarbonlarının toksikolojik etkileri, bileşenlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Uluslararası Kansere Araştırma Ajansı (IARC) tarafından yapılan sınıflandırmalara göre, petrol hidrokarbonları içerisinde özellikle aromatik yapıya sahip bileşikler arasında yer alan benzen ve benzo(a)piren, güçlü

kanserojen özellikleri nedeniyle insan sağlığı açısından yüksek riskli kabul edilmektedir (Zhou ve ark., 2004; Zhou ve ark., 2014).

Türk Gıda Kodeksinde (TGK) maksimum limit olarak belirtilen benzo(a)pyrene, kanserojenik PAH oluşumunda ve etkisinde bir marker olarak kullanılır. Türk Gıda Kodeksindeki (TGK) çift kabuklu yumuşakçalarda Benzo(a) pyrene için maksimum limit 10,0 µg/kg yaş ağırlık, balık eti için 2 µg/kg yaş ağırlık, kabuklular için ise 5 µg/kg verilmiştir.

2021 yılı izleme döneminde Marmara Denizi biyota örneklerinde balıkta, **Benzo(a)pyrene** konsantrasyonları 0,012-0,045 µg/kg yaş ağırlık (ya.) aralığında, midyede 0,173-1,046 µg/kg yaş ağırlık aralığında ölçülmüştür. Hem midye hemde balıkta, TGK’da verilen sınır değerinin altında Benzo(a)pyrene konsantrasyonları tespit edilmiştir.

Benzo(a)piren, benzo(a)anthrasen, benzo(b)floranthen ve krisen toplamı konsantrasyonları ise balık etinde 0,096-0,546 µg/kg ya. aralığında, midyede 1,008-5,769 µg/kg ya. aralığında ölçülmüştür. Tüm ölçüm değerleri TGK'da verilen sınır değer (12 µg/kg yaş ağırlık) altında bulunmuştur.

Yenilebilir dokulardaki **toplam PCB'lerin** (ICES-7) (PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 ve PCB180) konsantrasyonları balıkta 3,42-13,17 µg/kg ya., midye de ise 0,32- 5,03 µg/kg ya. aralığında olup, Türk gıda kodeksinin izin verilen maksimum limit değerlerinin (75 µg/kg ya) altındadır.

Pestisit olarak **DDT'nin** kullanımı 1985 yılından beri yasaklanmasına rağmen atmosferik ve diğer yollarda taşınması çok kolay olan bu kirleticinin ülkemiz karasularında ölçülmesi oldukça muhtemel görülmektedir. 2014-2019 yıllarında olduğu gibi 2021 izleme programında da tüm istasyonlardan toplanan biyota örneklerinde yapılan ölçümlerde DDT ve türevlerine rastlanmıştır.

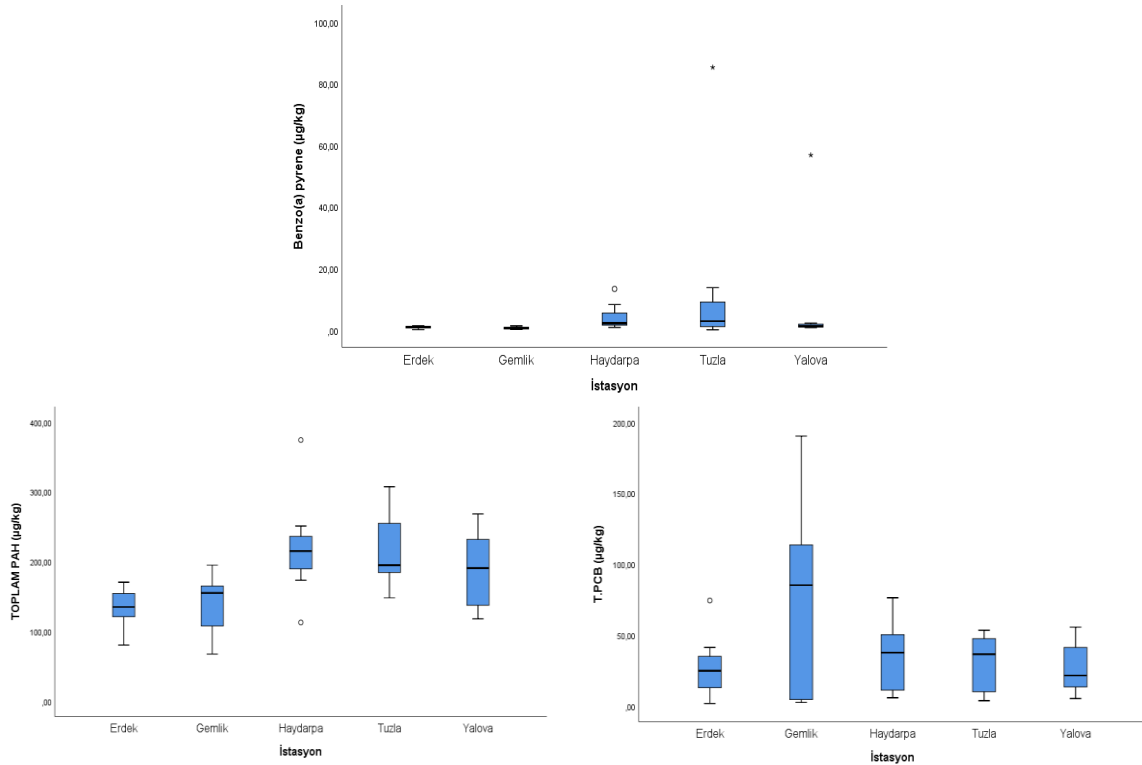
2021 yılı izleme döneminde yapılan çalışmada balık'ta (barbun ve berlam) 9,87-38,98 µg/kg ya., midyede ise 2,20-19,08 µg/kg olarak **p,p DDT, p,p DDE ve p,p DDD toplamına** rastlanmıştır.

Biyota örneklerinde yağları uzaklaştırmak için, sülfürik asit ile ekstraksiyon yapılmıştır. Dieldrin ve Endrin asit ekstraksiyonu aşamasında kaybolmaktadır. Bu yüzden biyota örneklerinde Dieldrin ve Endrin ölçülememiştir.

Hekzaklorobenzen balıkta 0,107-1,205 ng/g ya. aralığında değişim göstermiştir.

Diğer organoklorlu pestisitler ise (aldrin, HCH izomerleri ve heptaklor) çok düşük seviyelerde ve genel olarak ölçüm limitlerinin altında tespit edilmiştir

Midye istasyonlarında yönelim gözlenmemiştir. 2014-2022 döneminde her yıl çalışılan midye (*M. galloprovincialis*) örneklerindeki PAH ve PCB seviyeleri kuru ağırlık üzerinden Şekil 3.93'de verilmiştir. Toplam PCB, genel olarak aynı seviyede olup, en yüksek Gemlik Körfezinde ölçülmüştür.



Şekil 3.93. 2014-2022 yılları arasında midye’de Benzo(a)pyren, Toplam PAH ve Toplam PCB parametrelerinin değişimi (° aykırı değer, *ekstrem değer)

3.6.3 Radyoaktivite Düzeyleri

Çevresel radyoaktivite ölçüm ve izleme çalışmaları, bir ülkenin kamu sağlığını, çevre ve nükleer güvenliğini korumak ve radyoaktif materyallerin güvenli kullanımını teşvik etme açısından kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, acil durum hazırlığı, düzenleyici uyum, bilimsel araştırma ve nükleer ve radyolojik güvenlikle ilgili konularda uluslararası iş birliğini teşvik etme açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu ölçüm ve izleme faaliyetleri, radyasyonun kontrol altında tutulmasını ve olası risklerin en aza indirilmesini sağlar. Bu nedenlerle çevresel radyoaktivite ölçüm ve izleme çalışmaları, bir ülkenin ve dünya genelinde toplumların radyasyonla ilişkili riskleri anlamalarına, kontrol etmelerine ve azaltmalarına yardımcı olur, ayrıca, çevresel ve nükleer güvenliğin temel bir parçası olarak kabul edilir.

Denizel ortamlara kuru ve yaş çökme şeklinde havadan giren radyoaktif kirleticiler, ayrıca akarsular yoluyla da denizlere taşınmaktadır. Diğer taraftan Çernobil kazasında olduğu gibi kontamine olmuş toprakların erozyonla denizlere taşınması da bu ortamların kirletilmesinde etkili olmaktadır. Denizel ortama herhangi bir yolla giren radyoaktif bir kirletici su, sediman ve organizma arasında döngüye uğramaktadır. Sucul bir ortama girmiş olan radyoizotoplar, ya eriyik (solüsyon) halde ya da asılı olarak (süspansiyon) kalmakta, daha sonra ya dibe çökmekte veya organizmalar tarafından alınmaktadır. Bazı faktörler (akıntılar, çalkantılar, izotopik bollanma, biyolojik transport) suya girmiş olan bu radyoizotopların dağılımına ve bollanmasına neden olurken, diğer faktörler onların organizmalarda birikimine ya da sediman partiküllerine konsantre olmalarını sağlamaktadır. Dünyanın denizel, karasal ve atmosferik ortamlarında

görülen radyoaktivitenin ana kaynağını doğal (natürel) radyoaktivite ve yapay (antropojenik) radyoaktivite oluşturmaktadır. Özellikle denizel ortamlarda doğal radyoizotop konsantrasyonları hızla artmaktadır. Bunun da nedeni, yapay gübrelerin, fosil yakıtların, deterjan ve pestisit kullanımının hızlı artışı ya da fosfat işleme tesislerinin çoğalmasındır.

Marmara Denizi çevresindeki radyoaktif kirliliğin izlenmesi ve değerlendirilmesi, bölgenin çevresel sağlığı ve su kalitesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

DEN-İZ Programı kapsamında yapılan radyoaktivite izlemeleri Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK), Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü-İstanbul (Mülga Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)) işbirliği ile gerçekleştirilmektedir.

DEN-İZ Programı kapsamında İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi'nde, 2015-2022 yılları arasında toplam 4 istasyonda (KO, İZ17, ER1, MD59) yüzey suyu ve sediman örneklerinde radyoaktivite düzeyleri izlenmiştir. Deniz radyoaktivitesi doğal ve yapay izotoplardan kaynaklanır. Genel olarak deniz radyoaktivitesi doğal ve yapay izotoplardan kaynaklanır. Doğal radyoaktivite Uranyum, Toryum, Aktinyum serisi ve K-40 gibi izotoplardan meydana gelir ve toplam radyoaktivitenin önemli bir bölümünü oluşturur. Antropojenik (yapay) kaynaklı radyoaktivite ise Cs-137 ve Sr-90 gibi radyoizotoplardan kaynaklanır, nispeten düşük aktiviteye sahip olmasına rağmen radyoaktif kirliliğin ana kaynağını oluştururlar.

Deniz Suyunda Doğal ve Yapay (Antropojenik) Radyoaktivite

2015-2022 izleme döneminde deniz suyunda doğal izotoplardan U-238, U-234 ve U-235 ve Ra-226 izotopları ile kozmojenik izotoplardan H-3 radyoizotopu izlenmiştir. Uranyum aktivitesinde K0 (İst. Boğazı) istasyonu aktivitesinde anlamlı değişimler gözlenmiş ancak diğer istasyonlarda yıllara göre göreceli farklılıklar olmasına rağmen önemli bir değişiklik izlenmemiştir. En yüksek U-234 aktivitesi 2020 yılında İZ17 (İzmit Körfezi) istasyonunda $43,9 \pm 5,0$ mBq/L, en düşük 2019 yılında K0 (İst. Bğz) istasyonunda $27,0 \pm 4,5$ mBq/L, sekiz yıllık ortalama aktivite $33,3 \pm 2,7$ mBq/L olarak tespit edilmiştir. En yüksek U-238 aktivitesi 2020 yılında İZ17 (İzmit Körf.) istasyonunda $38,4 \pm 4,5$ mBq/L, en düşük 2022 yılında K0 istasyonunda $21,5 \pm 3,1$ mBq/L, sekiz yıllık ortalama aktivite $27,8 \pm 2,3$ mBq/L olarak ölçülmüştür. U-235 aktivitesi oldukça düşük düzeyde ($0,80$ ile $2,80$ mBq/L) olup, önemli bir değişim izlenmemiştir. Denizlerdeki uranyum konsantrasyonu yaklaşık olarak $1,3$ pbb ($0,1$ ile $5,9$ pbb) bu da yaklaşık olarak $32,8$ mBq/L aktivite değerine eşit olup sonuçlarımızla uyumludur. Deniz suyundaki uranyumun temel kaynakları, magmatik, metamorfik ve tortul kayalardır. Bunlar çeşitli atmosferik proseslerle çözülerek yüzey sularına karışır ve akarsularla denizlere taşınırlar. Nehir ağzına göre konumu, tuzluluk, derinlik, pH, redoks potansiyeli, iletkenlik vb. parametrelere göre farklılık gösterirler.

Ra-226 aktivite düzeyleri yıllar ve istasyonlara göre ayrı ayrı incelendiğinde İstasyonlar arasında göreceli farklar olduğu ancak yıllara göre anlamlı bir değişim göstermediği görülmektedir. 2015-2022 yılı ortalama sekiz yıllık değişim trendinin yatay seyir izlediği görülmüştür. En yüksek Ra-226 aktivitesi 2015 yılında MD59 (Tekirdağ) istasyonunda $2,14 \pm 0,42$ mBq/L, en düşük 2018 yılında K0 istasyonunda $0,46 \pm 0,16$ mBq/L, sekiz yıllık ortalama aktivite $1,07 \pm 0,18$ mBq/L

olarak tespit edilmiştir. İstasyonlar arasında sekiz yıllık izleme süresince anlamlı bir fark görülmemiş sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır. Radyum izotopunun suda çözünürlüğü çok yüksek olduğundan deniz sularında çözünmüş halde bulunur. Radyumun denizlerdeki aktivite düzeyleri oldukça düşük olmasına rağmen radyo toksisitesi oldukça yüksektir. Besin zinciri ile sindirim kanalından vücuda alınır ve özellikle kemik dokularına yerleşirler. Toplam alfa ve beta aktivitelerinde altı yıllık izlem süresince herhangi bir anormal değişim izlenmemiştir.

2015-2022 izleme döneminde deniz suyunda antropojenik radyoizotoplar içerisinde deniz kirliliği açısından en önemlileri olan Sezyum (Cs-137 ve Cs-134), Stronsiyum (Sr-90), Plütonyum (Pu-239+240) ve Tritiyum (H-3) izotopları izlenmiştir. Marmara Denizindeki antropojenik radyoaktif kirliliğin en önemli nedeni, Çernobil kazası sonrası Karadeniz'den İstanbul Boğazı yoluyla önemli radyoizotop geçişinin olmasıdır. Bunun yanında nükleer silah denemeleri, izotop üretim tesisleri, tarımda kullanılan gübreler, endüstri ve tıpta teşhis ve tedavi amaçlı kullanılan izotoplar başlıca kirlilik kaynaklarıdır. Son sekiz yıllık Cs-137 ve Sr-90 aktivite konsantrasyonları gerek istasyonlar bazında, gerekse yıllık ortalama değerler açısından incelendiğinde çok küçük değişimler olsa da önemli bir değişim izlenmemiştir. H-3 aktivitesinde ise önceki yıllarla benzer değişimler gözlenmiştir. Pu-239+240 konsantrasyonları çoğunlukla ölçüm limitinin altında kalmıştır.

En yüksek Cs-137 konsantrasyonu $11,4 \pm 0,5$ mBq/L ile 2015 yılında K0 istasyonunda, en düşük ise 2017 yılında $4,80 \pm 0,70$ mBq/L ile İZ17 istasyonunda tespit edilmiştir. Tüm istasyonlar için 2015-2022 yılları arasında tespit edilen ortalama aktivite $7,4 \pm 1,0$ mBq/L'dir. Bu sonuçlar Karadeniz verileri ile

karşılaştırıldığında daha düşük olup, beklenen bir durumdur. Cs-134 konsantrasyonu tüm istasyonlarda ölçüm limitinin altında kalmıştır.

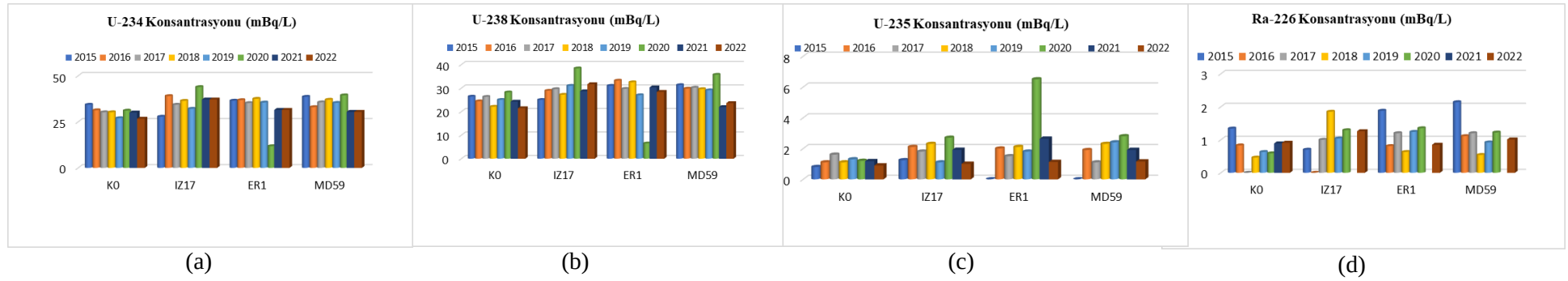
Sr-90 konsantrasyonu Cs-137' e göre daha düşük olmakla birlikte paralellik göstermiştir. En yüksek aktivite 2017 yılında İZ17 istasyonunda $5,40 \pm 0,20$ mBq/L, en düşük 2016'da ER1 istasyonunda $0,80 \pm 0,40$, altı yıllık ortalama $3,37 \pm 1,29$ mBq/L'dir. Karadeniz sonuçlarına göre daha düşük değerlerlerdir. Bu durum göz önüne alındığında, 2020 yılı itibari ile söz konusu istasyonlarda Sr-90 aktivitesi izlemeden çıkarılmış ve antropojenik izleme Cs-137 izotopu ile takip edilmeye devam edilmiştir.

H-3 aktivitesi istasyonlar ve yıllara göre önemli değişimler göstermiştir. Bunun sebebi trityumun hem yapay hem de doğal (kozmojenik) kaynaklı izotop olması, güneş ve dış uzay kaynaklı kozmik aktivitelere ve atmosferik olaylara bağlı olarak denizlerdeki aktivitesinin farklılık göstermesidir. Su molekülündeki oksijen ve hidrojenin kararlı izotop oranlarına benzer şekilde, trityumun yağıştaki dağılımını etkileyen birkaç faktör bulunmaktadır. 'Enlem etkisi', giderek artan enlemle birlikte artan trityum konsantrasyonlarını gösterir, 'mevsimsel etki' ilkbahar ve erken yaz aylarında artan trityum konsantrasyonlarını gösterir ve 'kıtasal etki', kıyılardan uzaklaştıkça artan

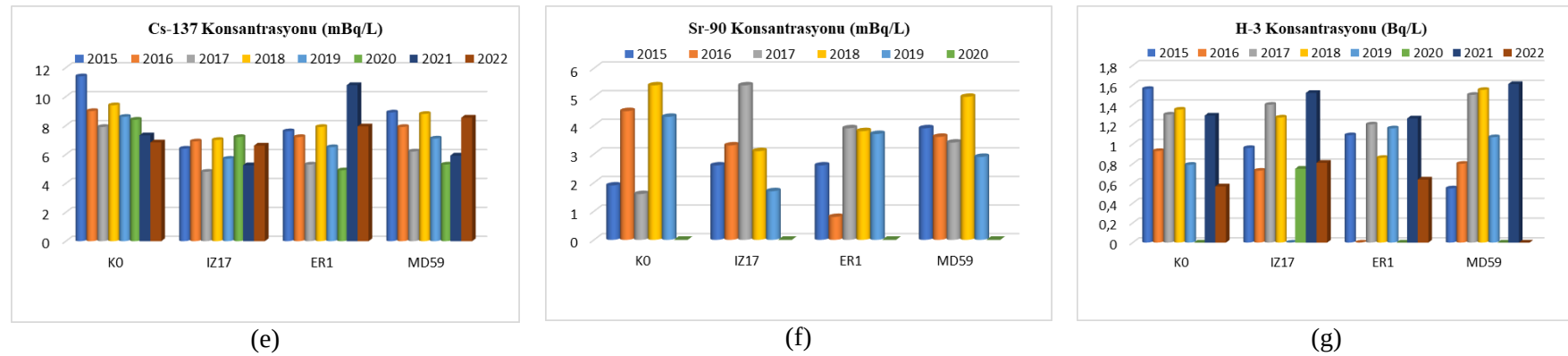
trityum konsantrasyonlarını tanımlar, Ek olarak, stratosferik nem, yer seviyesindeki nemden daha yüksek trityum içeriğine sahiptir. Bu nemin küçük miktarları bile, sonuçta oluşan yağışın trityum konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırabilir. Stratosfer ve troposfer arasındaki değişim, coğrafi ve zaman içinde değiştiğinden stratosferik trityum katkısının dinamikleri kısmen açık bir soru olarak kalmaktadır.

Son sekiz yıllık dönemde İZ17 istasyonunda Pu-239+240 düzeyi ölçüm limitinin altında kalmıştır. K0 istasyonunda iki dönem, 2015 ve 2017 yıllarında, ER1 istasyonunda iki dönem 2015 ve 2017 yıllarında ve MD59 istasyonunda bir dönem ölçüm yapılabilmüş olup sırası ile $0,013 \pm 0,009$, $0,004 \pm 0,001$, $0,017 \pm 0,01$, $0,004 \pm 0,002$ ve $0,002 \pm 0,001$ mBq/L olarak ölçülmüştür. Diğer dönemlere ait örnek aktiviteleri ölçüm limitinin altında bulunmuştur. Bu değerler oldukça düşük olup deniz kirliliği açısından herhangi bir risk oluşturmamaktadır. Tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında 2020 yılı itibari ile söz konusu istasyonlarda Pu-239+240 aktivitesi izlemeden çıkarılmış ve antropojenik izleme Cs-137 izotopu ile takip edilmeye devam edilmiştir.

Yüzey sularında doğal ve antropojenik radyoizotop konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi Şekil 3.94 ve Şekil 3.95de gösterilmiştir.



Şekil 3.94. Deniz suyunda doğal radyoizotop konsantrasyonları (2015-2022), a, b, c Uranyum izotopları, d. Radyum



Şekil 3.95. Deniz suyunda antropojenik ve kozmojenik radyoizotop konsantrasyonları (2015-2022), e. Sezyum, f. Stronsiyum ve g. Trityum

*Sr-90 radyoizotopu söz konusu istasyonlar için 2020 yılı sonrası izleme programından çıkartılmıştır

Sedimanda Radyoaktivite

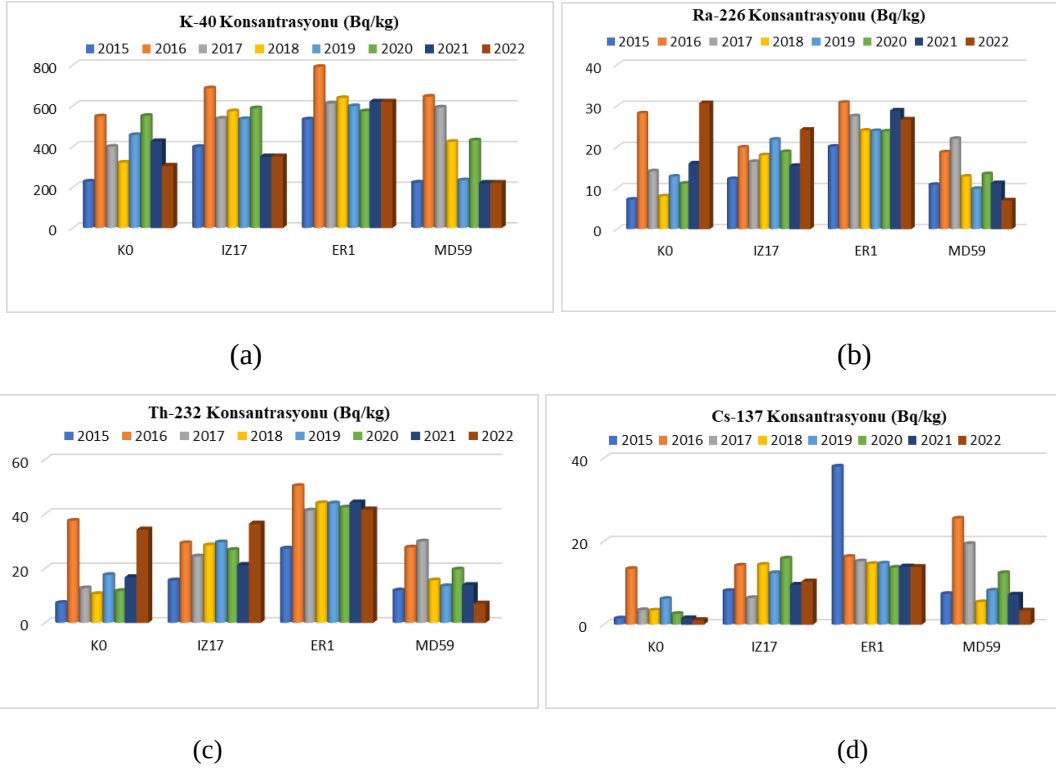
İzleme programı kapsamında sedimanda 4 istasyonda doğal radyoizotoplardan Potasyum (K-40), Radyum (Ra-226) ve Toryum (Th-232) ile antropojenik izotoplardan Sezyum (Cs-137 ve Cs-134) radyoizotopları izlenmiştir.

2015-2022 izleme döneminde istasyonlara göre önemli farklılıklar olmasına rağmen yıllara göre ortalama doğal ve yapay izotop konsantrasyonlarında önemli değişimler gözlenmemiştir. Sekiz yıllık dönemde en yüksek K-40 aktivitesi 2016 yılında ER1 istasyonunda 791 ± 87 Bq/kg, en düşük 2022 yılında MD59 istasyonunda 223 ± 24 Bq/kg ve sekiz yıllık ortalama 476 ± 112 Bq/kg olarak tespit edilmiş olup, normal değerler arasındadır. K-40, potasyumun üç izotopundan tek radyoaktif olanıdır ve toplam potasyum izotoplarının sadece %0,0118'ni oluşturur ki topraktaki konsantrasyonu yaklaşık 120 ppm (120 gram/ton) düzeyinde olup spesifik aktivitesi 262,7 kBq/g'dır. Yer kabuğunda jeolojik yapıya bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda bulunur. Gama ve beta yayınladığı için iç ve dış ışınlamalara neden olur. Topraklardaki K-40 aktivitesinin dünya ortalaması 400 Bq/kg mertebesinde. Doğal izotop olduğu için deniz sularındaki ve sedimetlerdeki düzeyleri tamamen deniz jeolojisi ve oşinografik proseslerle açıklanabilir.

En yüksek Ra-226 aktivitesi 2016 yılında ER1 istasyonunda $30,8 \pm 3,2$ Bq/kg, en düşük 2022 yılında K0 istasyonunda $7,0 \pm 1,1$ Bq/kg ve sekiz yıllık ortalama $18,3 \pm 5,4$ Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Radyum yer kabuğunda çok düşük konsantrasyonlarda, yani ppt (miligram/ton) düzeyindedir. Uranyumun bozunumundan oluşur ve radyoaktivitesi oldukça yüksektir. Spesifik aktivitesi 36,6 GBq/g, olup bozunumunda hem alfa hem de gama ışıması yaptığı için iç ve dış ışınlamalara neden olur. Ra-226 radyoizotopunun deniz suyu ve sedimanlardaki konsantrasyonu oşinografik akıntılar, su kolonu değişimleri ve jeokimyasal etkileşimlere bağlı olarak değişim gösterebilmektedir.

En yüksek Th-232 aktivitesi 2016 yılında ER1 istasyonunda $50,3 \pm 4,9$ Bq/kg, en düşük 2022 yılında K0 istasyonunda $7,1 \pm 1,1$ Bq/kg ve sekiz yıllık ortalama $26,1 \pm 11,3$ Bq/kg olarak tespit edilmiştir. Bu değerler normal beklenen değerler olup normal sınırlardadır. Yer kabuğundaki konsantrasyonu yaklaşık olarak 6 ppm (6 gram/ton) seviyesindedir. Silis örneğinde olduğu gibi doğal çevrede diğer mineraller ile çeşitli kombinasyonlarda bulunur, suda kolay çözünmez, topraktan veya sudan havaya buharlaşmaz. Th-232 radyoizotopu doğal bir radyoizotop olduğu için, deniz suyu ve sedimanlardaki konsantrasyonları jeokimyasal süreçlere bağlı olarak bölgesel farklılıklar gösterebilir.

2015-2022 döneminde izlemeye alınan tek antropojenik radyoizotop olan Cs-137 istasyonlar arasında göreceli farklılıklar göstermiştir. En yüksek Cs-137 aktivitesi 2015 yılında ER1 istasyonunda $38,0 \pm 4,1$ Bq/kg, en düşük 2022 yılında K0 istasyonunda $1,1 \pm 0,2$ Bq/kg ve sekiz yıllık ortalama $11,1 \pm 5,5$ Bq/kg olarak tespit edilmiştir. İstasyonlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde özellikle K0 istasyonundaki radyoaktivitenin diğer istasyonlara göre daha hızlı değişim gösterdiği görülmektedir. Sekiz yıllık izleme süresince istasyonlar ayrı ayrı değerlendirildiğinde ortalama aktivite en yüksek ER1 istasyonunda görülmüştür ($18,8 \pm 9,5$ Bq/kg). Bu durum en fazla Cs-137 çökelmelerinin bu bölgelerde gerçekleştiğini göstermektedir. Çernobil (1986) kazasından bu yana bir yarılanmadan fazla zaman geçmesine rağmen bu düzeyde aktivitenin yüksek olması, kıyılarımızın önemli ölçüde kontamine olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Sediman örneklerinde tespit edilen doğal ve antropojenik radyoizotop konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi Şekil 3.96' da gösterilmiştir.



Şekil 3.96. Sedimanda doğal ve antropojenik radyoizotop konsantrasyonları (2015-2022), a. Potasyum, b.Radyum, c.Toryum ve d. Sezyum

3.7 Deniz Çöpleri

Deniz çöpleri, nehirlerle, kanalizasyon veya drenaj sistemleri yoluyla, erozyon, rüzgâr gibi doğal yollarla denize ve kıyısall ortama taşınan üretilmiş/işlenmiş kalıcı madde olarak tanımlanmaktadır (UNEP, 2005; Galgani vd., 2010).

Çöplerin özellikle mikro parçacıklar olarak varlıkları ve bunların etkileri ise yeni yeni anlaşılmaya başlamış olup bu konudaki çalışmalar küresel ölçekte oldukça sınırlıdır. AB DSÇD ve UNEP/MAP IMAP kapsamında da ele alınmaktadır.

Gerek DSÇD ve gerekse UNEP/MAP-IMAP açısından tanımlanan önemli olan göstergeler şunlardır:

- Sahilde ve su kolonundaki (yüzeyde sürüklenenler de dahil) ve deniz tabanında biriken çöplerin miktar yönelimleri, içerik analizleri, bölgesel dağılımı (IMAP/EO10, CI 22-23 & MSFD/D10C1).
- Mikropartiküllerin (özellikle mikroplastiklerin) miktar, dağılım ve

mümkünse içerik yönelimleri (IMAP/EO10, CI 23 & MSFD/D10C2).

- Deniz hayvanları tarafından sindirilen çöplerin miktar ve içerik seviye ve yönelimleri (örn., mide içeriği analizleri) (IMAP/EO10, CI 24 & MSFD/D10C3).

2014-2016 izleme döneminde deniz suyu ve sedimanında yapılan mikroplastik çalışmalarına 2017-2019 programında ara verilmiştir.

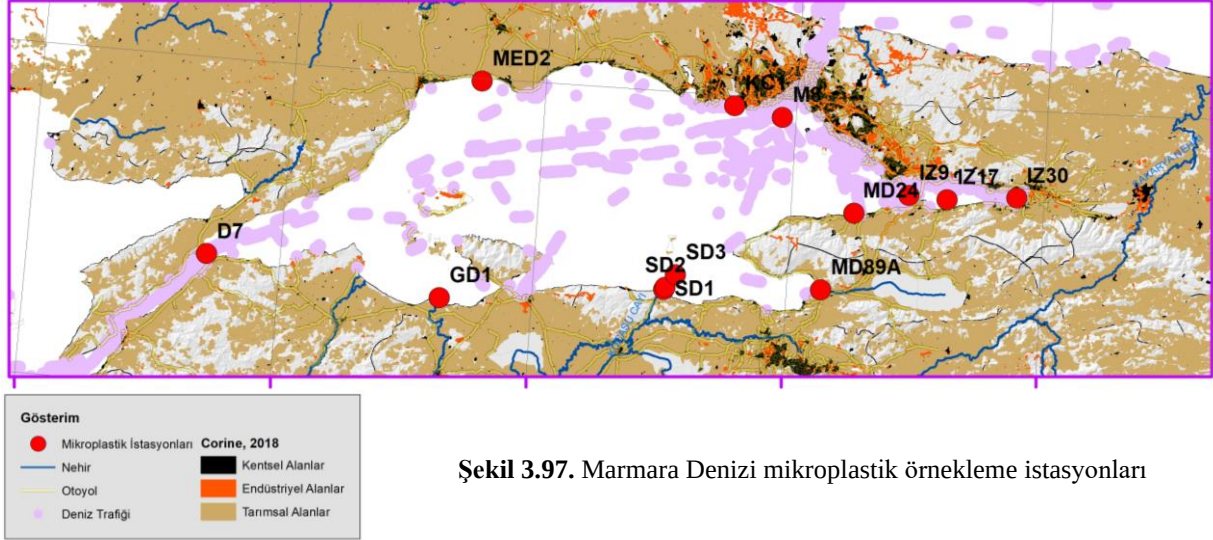
2020-2022 dönemi izleme programında tüm denizlerimizde mikroplastik çalışmalarının istasyon ağı artırılmış ve yaz kış olmak üzere iki dönem çalışılmıştır.

Ulusal izleme programı kapsamında Marmara Denizi'nde sahil çöplerinin izlenmesi ilk defa 2017 yılında başlamıştır. Her yıl düzenli olarak bir pilot alanda sahil çöpü çalışması yapılmıştır. Deniz tabanı makro çöpler ise her 3 yılda bir (2016,2019 ve 2021) trolle biyoçeşitlilik çalışması ile eş zamanlı yapılmıştır.

3.7.1 Deniz Ortamında Mikroplastikler

DEN-İZ Programı kapsamında 2019-2022 periyodunda yaz ve kış dönemlerinde, karasal kirleticilerin etkisi göz önünde bulundurularak seçilen 12 istasyonda

mikroplastik kirliliği su yüzeyi, su kolonu ve sediman matrislerinde araştırılmıştır.



Şekil 3.97. Marmara Denizi mikroplastik örnekleme istasyonları

Su yüzeyi

2020 yaz döneminde Marmara Denizi yüzey sularında mikroplastik konsantrasyonu en düşük Küçükçekmece kıyı (KC1) ve İzmit Körfezi- körfez sonu (İZ30) olmak üzere 2.32 adet.m^{-3} ile $51.67 \text{ adet.m}^{-3}$ (ortalama $13.32 \pm 13.05 \text{ adet.m}^{-3}$) arasında değişmiştir (Tablo 3.14). Marmara Denizi yüzey suyu örneklerinde en sık rastlanılan mikroplastik tipi fiber (% 46.7) olurken (Şekil 1), şeffaf (%26.4) en baskın renk olarak tespit edilmiştir.

Kış 2021 döneminde Marmara Denizi yüzey sularında mikroplastik konsantrasyonu en düşük Erdek Körfezi (GD1) ve en yüksek İzmit Körfez sonu (İZ30) istasyonları olmak üzere 1.3 adet.m^{-3} ile 48.5 adet.m^{-3} (ortalama 11.1 ± 13.6 Kış 2022 döneminde Marmara Denizi yüzey sularında mikroplastik konsantrasyonu en düşük İzmit Körfez sonu (İZ30) ve en yüksek İzmit Körfezi (İZ9) istasyonları olmak üzere 3.24 adet.m^{-3} ile $38.25 \text{ adet.m}^{-3}$ (ortalama $16.32 \pm 10.66 \text{ adet.m}^{-3}$) arasında değişmiştir (Tablo 3.14). Marmara Denizi yüzey suyu örneklerinde En sık rastlanılan mikroplastik tipi fiber (%)

adet.m^{-3}) arasında değişmiştir (Tablo 1). Marmara Denizi yüzey suyu örneklerinde en sık rastlanılan mikroplastik tipi fiber (% 81.9) olurken (Şekil 3.98), siyah (% 30.6) en baskın renk olarak tespit edilmiştir.

Yaz 2021 döneminde Marmara Denizi yüzey sularında mikroplastik konsantrasyonu en düşük Gemlik Körfezi (MD89A) ve en yüksek İzmit Körfez sonu (İZ30) istasyonları olmak üzere 3.9 adet.m^{-3} ile $189.1 \text{ adet.m}^{-3}$ (ortalama $27.3 \pm 57.1 \text{ adet.m}^{-3}$) arasında değişmiştir (Tablo 1). Marmara Denizi yüzey suyu örneklerinde en sık rastlanılan mikroplastik tipi parça (% 53.5) olurken (Şekil 3.98), siyah (% 23) en baskın renk olarak tespit edilmiştir.

50.2) olurken (Şekil 3.98), siyah (% 34) en baskın renk olarak tespit edilmiştir.

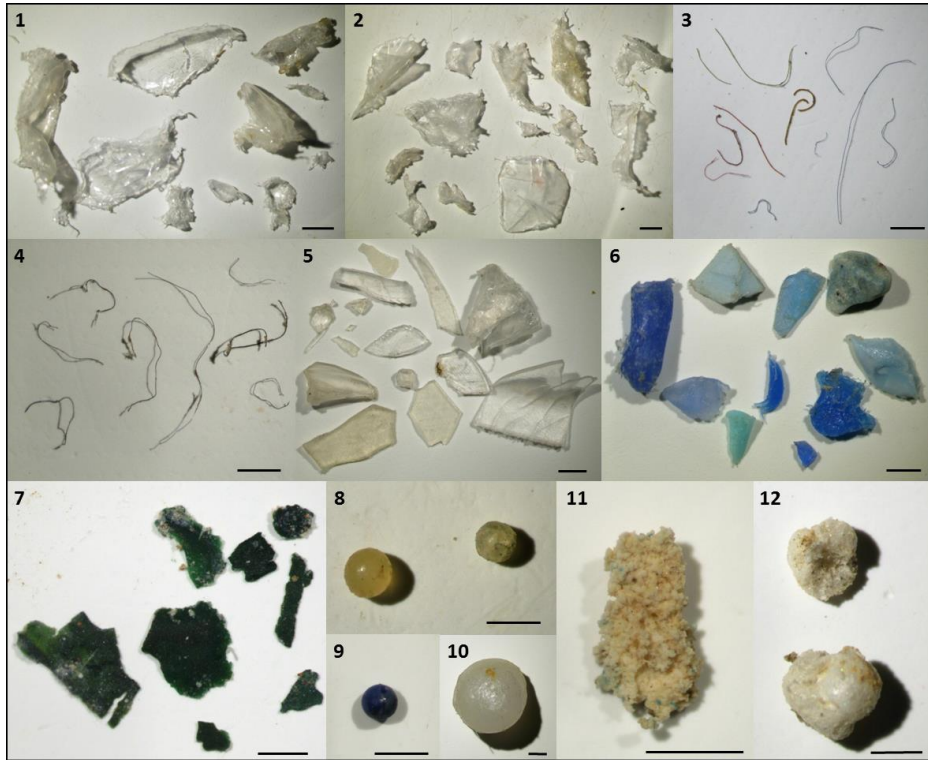
Yaz 2022 döneminde Marmara Denizi yüzey sularında mikroplastik konsantrasyonu en düşük İzmit körfezi-Orta (İZ17) ve en yüksek Küçük Çekmece-Kıyı (KC1) istasyonları olmak üzere 0.97 adet.m^{-3} ile $10.31 \text{ adet.m}^{-3}$ (ortalama $4.68 \pm 2.85 \text{ adet.m}^{-3}$) arasında değişmiştir

(Tablo 3.14). Marmara Denizi yüzey suyu örneklerinde en sık rastlanılan mikroplastik tipi fiber (% 49), olurken (Şekil 3.98),

siyah (% 31) en baskın renk olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.14. Ulusal İzleme Programı kapsamında Marmara Denizi'nde 2020, 2021 ve 2022 dönemlerinde yüzey sularında ortalama mikroplastik konsantrasyonu $\pm$ std sapma (adet.m⁻³)

	Film	Fiber	Parça	Köpük	Boncuk	Pelet	Boya	Silikon	Kauçuk	Toplam
Yaz 2020	2.88 $\pm$ 3.58	6.23 $\pm$ 5.64	3.61 $\pm$ 4.20	0.52 $\pm$ 0.68	0.07 $\pm$ 0.08	0.01 $\pm$ 0.01	-	-	-	13.32 $\pm$ 13.05
Kış 2021	0.15 $\pm$ 0.15	9.09 $\pm$ 12.86	1.61 $\pm$ 1.48	0.19 $\pm$ 0.21	0.02 $\pm$ 0.04	0.02 $\pm$ 0.07	0.52 $\pm$ 0.80	0.003 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.07	11.07 $\pm$ 13.59
Yaz 2021	4.1 $\pm$ 11.9	6.4 $\pm$ 4.1	15.6 $\pm$ 42.6	0.3 $\pm$ 0.5	0.01 $\pm$ 0.03	0.1 $\pm$ 0.1	0.9 $\pm$ 1	0.05 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.1	27.3 $\pm$ 57.1
Kış 2022	0.83 $\pm$ 2.03	8.19 $\pm$ 6.92	4.66 $\pm$ 4.16	0.29 $\pm$ 0.49	0.02 $\pm$ 0.04	0.02 $\pm$ 0.04	2.30 $\pm$ 1.94	0.01 $\pm$ 0.02	-	16.32 $\pm$ 10.66
Yaz 2022	0.30 $\pm$ 0.42	2.29 $\pm$ 2.82	1.75 $\pm$ 1.42	0.12 $\pm$ 0.36	0.003 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.03	0.20 $\pm$ 0.26	-	-	4.68 $\pm$ 2.85



Şekil 3.98. Marmara Denizi yüzey sularında rastlanılan mikroplastik tiplerinden bazıları (1-2: film, 3-4: fiber, 5-6: parça, 7: boya, 8-9: boncuk, 10: pelet, 11: silikon, 12: köpük, skala= 1 mm).

DEN-İZ Programı kapsamında 2015 (İZ30 ve MD24) ve 2016 yaz (İZ17, İZ30 ve MD24) dönemlerinde pilot ölçekli olarak Marmara Denizi yüzey sularında mikroplastik kirliliği araştırmaları yapılmıştır. Tablo 3.15'de izleme programı kapsamında yüzey sularında tespit edilen ortalama mikroplastik konsantrasyonu ve baskın mikroplastik tipi verilmektedir. Mevcut veri seti her biri farklı fiziksel ve kimyasal özelliği sahip olmaları dolayısıyla mikroplastiklerin homojen dağılım sergilemediklerini ortaya

koymaktadır. Marmara Denizi yüzey sularında çoğunluğu sentetik tekstilin yıkanması sonucu ortaya çıkan fiberlerin baskınlığı derin deniz deşarjı, kanalizasyon gibi karasal kaynakların bir göstergesidir. Yine 2021 yaz döneminde yüzey sularında daha büyük boyutlu plastik objelerin parçalanması sonucu oluşan parça tipte mikroplastik baskınlığı genel olarak yetersiz atık yönetimine, kıyısız kontrolsüz dolgu ve boşaltımlardan kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.15. Marmara Deniz’inde 2014-2022 dönemleri arasında yüzey sularında ortalama mikroplastik konsantrasyonu (adet.m⁻³)

Dönem	Ortalama±SS	Baskın MP tip
2015 Yaz	1.98±0.92	Fiber
2016 Yaz	0.92±0.02	Fiber
2020 Yaz	13.32±13.05	Fiber
2021 Kış	11.07±13.59	Fiber
2021 Yaz	27.3±57.1	Parça
2022 Kış	16.32±10.66	Fiber
2022 Yaz	4.68±2.85	Fiber

Su kolonu

Yaz 2020 döneminde Marmara Denizi su kolonunda en düşük mikroplastik konsantrasyonu İzmit Körfezi-Orta (İZ17), en yüksek Susurluk Çayı-Giriş (SD1) olmak üzere 0.38 adet.m⁻³ ile 78.44 adet.m⁻³ (ortalama 17.09±24.26 adet.m⁻³) arasında değişmiştir (Tablo 3.16). Marmara Denizi su kolonu örneklerinde en sık rastlanılan mikroplastik tipi fiber (% 78.5) olurken (Şekil 3.99), şeffaf (%50.7), en baskın renk olarak tespit edilmiştir.

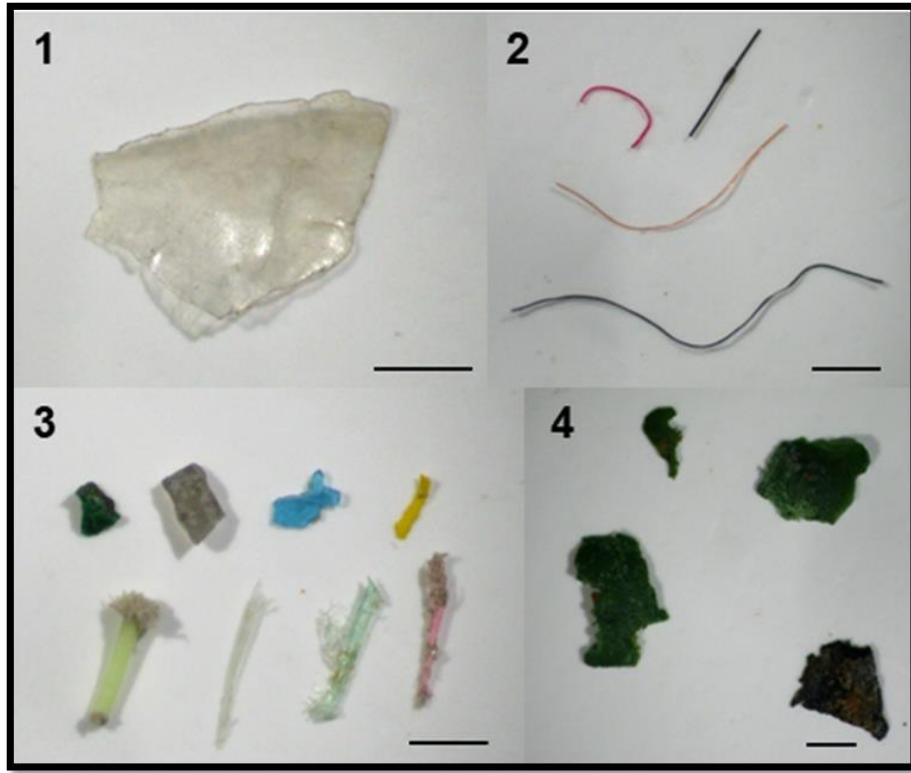
Yaz 2021 döneminde Marmara Denizi su kolonunda en düşük mikroplastik konsantrasyonu İzmit Körfezi (orta)(İZ17), en yüksek Susurluk Çayı giriş (SD1) olmak üzere 0.4 adet.m⁻³ ile 32.4 adet.m⁻³ (ortalama 9.9± 10.4 adet.m⁻³) arasında

değişmiştir (Tablo 3.15). Marmara Denizi su kolonu örneklerinde en sık rastlanılan mikroplastik tipi fiber (% 59.1) olurken (Şekil 3.99), siyah (%23.6), en baskın renk olarak tespit edilmiştir.

Yaz 2022 döneminde Marmara Denizi su kolonunda en düşük mikroplastik konsantrasyonu Çanakkale Boğazı (D7), en yüksek Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi (GD1) olmak üzere 0.1 adet.m⁻³ ile 54.2 adet.m⁻³ (ortalama 10.38± 15.15 adet.m⁻³) arasında değişmiştir. Marmara Denizi su kolonu örneklerinde en sık rastlanılan mikroplastik tipi fiber (% 75.4) olurken (Şekil 3.99), şeffaf (%30), en baskın renk olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.16. Ulusal İzleme Programı kapsamında Marmara Denizi’nde 2020, 2021 ve 2022 dönemlerinde su kolonunda ortalama mikroplastik konsantrasyonu (adet.m⁻³).

Dönem	Film	Fiber	Parça	Köpük	Boya	Toplam
2020 yaz	0.49±0.67	13.41±18.05	3.18±6.38	0.01±0.04	-	17.09±24.26
2021 yaz	0.01±0.05	4.7±4.3	0.9±0.9	-	4.3±7.5	9.9±10.4
2022 yaz	-	6.93±8.20	2.04±4.33	-	1.40±3.42	10.38±15.15



Şekil 3.99. Marmara Denizi su kolonunda rastlanılan mikroplastik tiplerinden bazıları (1: film, 2: fiber, 3: parça, 4: boya, skala= 1 mm)

Tablo 3.17’de izleme programı kapsamında su kolonunda tespit edilen ortalama mikroplastik konsantrasyonu ve baskın mikroplastik tipi verilmektedir. Marmara Denizi’nde İzleme programı kapsamında su kolonunda mikroplastik kirliliği 2015 yılında pilot ölçekte yalnızca İZ30 istasyonunda, 2016 da ise İZ17, İZ30 ve MD24 istasyonlarında araştırılmıştır. 2019-2022 Programı kapsamında ise 11 istasyonda mikroplastik kirliliği verileri toplanmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde ve tek istasyondan

replikasız veri olan 2015 yılı göz önünde bulundurulmadığında, Marmara Denizi su kolonunda mikroplastik konsantrasyonu önemli bir artış sergilememiştir (Tablo 3.17). 2014-2022 periyodunda su kolonunda özellikle kanalizasyon, derin deniz deşarjı gibi karasal kaynakların bir göstergesi olan ve çoğunluğu sentetik tekstilin yıkanması sonucu ortaya çıkan fiber tipte mikroplastikler baskın olmuş, su yüzeyinden farklı olarak boncuk, pelet, kauçuk ve silikon tipte mikroplastiklere rastlanmamıştır.

Tablo 3.17 Ulusal İzleme Programı kapsamında Marmara Denizi’nde 2014-2022 dönemleri arasında su kolonunda ortalama mikroplastik konsantrasyonu (adet.m⁻³)

Dönem	Ortalama±SS	Baskın MP tip
2015 Yaz	44.84	Fiber
2016 Yaz	10.52±5.82	Fiber
2020 Yaz	17.09±24.26	Fiber
2021 Yaz	9.9±10.4	Fiber
2022 Yaz	10.38±15.15	Fiber

Sediman

Yaz 2020 Marmara Denizi sedimanlarında mikropplastik konsantrasyonu en düşük Çanakkale Boğazı (D7), en yüksek Gemlik Körfezi olmak 52.1 adet.l^{-1} ile 834 adet.l^{-1} (ortalama $269.7 \pm 267.6 \text{ adet.l}^{-1}$) arasında değişmiştir (Tablo 3.18). Marmara Denizi sediman örneklerinde en sık rastlanılan mikropplastik tipi parça (% 51.6) olurken (Şekil 3), en baskın renk siyah (% 22.1) olmuştur.

Kış 2021 Marmara Denizi sedimanlarında mikropplastik konsantrasyonu en düşük Susurluk çayı ağzı (SD1), en yüksek Gemlik körfezi (MD89A) istasyonları olmak 5.5 adet.l^{-1} ile $525.5 \text{ adet.l}^{-1}$ (ortalama $185.8 \pm 192.3 \text{ adet.l}^{-1}$) arasında değişmiştir (Tablo 3.18). Marmara Denizi sediman örneklerinde en sık rastlanılan mikropplastik tipi parça (% 72) olurken (Şekil 3.100), en baskın renk şeffaf (% 29.1) olmuştur.

Yaz 2021 Marmara Denizi sedimanlarında mikropplastik konsantrasyonu en düşük Çanakkale Boğazı (D7), en yüksek Susurluk Çayı ağzı (SD1) istasyonları olmak üzere 12.9 adet.l^{-1} ile 800 adet.l^{-1} (ortalama $177.5 \pm 266 \text{ adet.l}^{-1}$) arasında

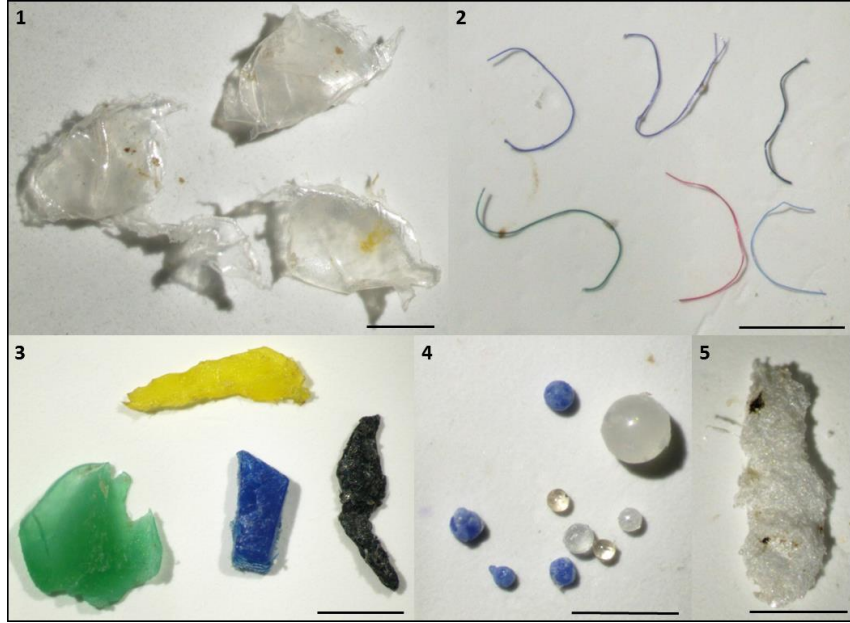
değişmiştir (Tablo 3.18). Marmara Denizi sediman örneklerinde en sık rastlanılan mikropplastik tipi parça (% 79.1) olurken (Şekil 3), en baskın renk şeffaf (% 30.3) olmuştur.

Kış 2022 Marmara Denizi sedimanlarında mikropplastik konsantrasyonu en düşük Çanakkale Boğazı (D7), en yüksek Küçük Çekmece- K1y1 (KC1) istasyonları olmak $12.90 \text{ adet.l}^{-1}$ ile $6407.91 \text{ adet.l}^{-1}$ (ortalama $734.74 \pm 1805.58 \text{ adet.l}^{-1}$) arasında değişmiştir (Tablo 3.18). Marmara Denizi sediman örneklerinde en sık rastlanılan mikropplastik tipi parça (% 56) olurken (Şekil 3.100), en baskın renk şeffaf (% 29.1) olmuştur.

Yaz 2022 Marmara Denizi sedimanlarında mikropplastik konsantrasyonu en düşük Marmara Ereğlisi (MED2), en yüksek Küçük Çekmece-K1y1 (KC1) istasyonları olmak üzere 8.88 adet.l^{-1} ile $920.0 \text{ adet.l}^{-1}$ (ortalama $219.49 \pm 254.54 \text{ adet.l}^{-1}$) arasında değişmiştir (Tablo 3.18). Marmara Denizi sediman örneklerinde en sık rastlanılan mikropplastik tipi parça (% 63.6) olurken (Şekil 3.100), en baskın renk şeffaf (% 36.2) olmuştur.

Tablo 3.18. Marmara Denizi'nde 2020, 2021 ve 2022 dönemlerinde sedimanda ortalama mikropplastik konsantrasyonu (adet.l^{-1})

	Film	Fiber	Parça	Köpük	Boncuk	Silikon	Toplam
Yaz 2020	6.9 ± 4.8	116.8 ± 144	141 ± 128.9	1.5 ± 2.2	3.5 ± 4.4	-	269.7 ± 267.6
Kış 2021	1.5 ± 1.5	44.2 ± 47.6	134 ± 138.8	0.7 ± 0.8	7.6 ± 3.3	1.1 ± 0.7	185.8 ± 192.3
Yaz 2021	7 ± 17.8	20.1 ± 29.4	147.1 ± 239.6	-	2.6 ± 5.6	0.7 ± 2.4	177.5 ± 266
Kış 2022	7.23 ± 11.70	214.29 ± 442.05	476.75 ± 1349.28	0.63 ± 2.20	35.83 ± 78.87	-	734.74 ± 1805.58
Yaz 2022	2.10 ± 5.27	62.98 ± 68.02	136.56 ± 181.93	-	13.85 ± 33.36	4.0 ± 11.57	219.49 ± 254.54



Şekil 3.100. Marmara Denizi sedimanlarında rastlanılan mikroplastik tiplerinden bazıları (1: film, 2: fiber, 3: parça, 4: boncuk, 5:köpük, skala: 1 mm)

Marmara Denizi'nde izleme programı kapsamında sedimanda mikroplastik kirliliği 2015 yılında pilot ölçekte yalnızca İZ30 ve MD24 istasyonlarında, 2016 da ise İZ17, İZ30 ve MD24 istasyonlarında araştırılmıştır. 2019-2022 programı kapsamında 11 istasyonda sedimanda mikroplastik kirliliği araştırılmıştır.

Tablo 3.19'da izleme programı kapsamında Marmara Denizi sedimanlarında tespit edilen ortalama mikroplastik konsantrasyonu ve baskın

mikroplastik tipi verilmektedir. Marmara Denizi'nde 2014 ve 2022 izleme periyodunda sediman konsantrasyonunun değişkenlik sergilediği görülmektedir. Veriyi sağlıklı değerlendirebilmek adına çoklu istasyonda uzun zaman serilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Tablo 3.19). 2019-2022 periyodu genel olarak değerlendirildiğinde, sedimanda büyük objelerin parçalanması sonucu oluşan parçalar en baskın mikroplastik tipi olmuştur.

Tablo 3.19. DEN-İZ Programı kapsamında Marmara Denizi'nde 2014-2022 dönemleri arasında sedimanda ortalama mikroplastik konsantrasyonu (adet.l⁻¹)

Dönem	Ortalama±SS	Baskın MP tip
2015 Yaz	720±311	Fiber
2016 Yaz	174.7±75.3	Fiber
2020 Yaz	269.7±267.6	Parça
2021 Kış	185.8±192.3	Parça
2021 Yaz	177.5±266	Parça
2022 Kış	734.74±1805.58	Parça
2022 Yaz	219.49±254.54	Parça

3.7.2 Sahilde Çöpler

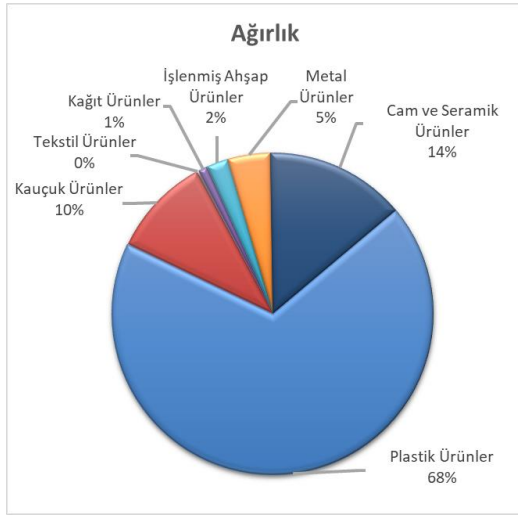
Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı kapsamında 2020-2022 yılları arasında Marmara Denizi Hersek Plajında çalışılmıştır. (Şekil 3.101). Örnekleme yapılan plaj bölgesinde 100'er metrelik

sahil çizgisi boyunca 2,5 cm boydan daha büyük atıklar toplanmış ve ayrıştırılmıştır. Ayrıştırılan deniz çöpleri, deniz çöpleri izleme kılavuzuna göre sınıflandırılmıştır (DİSSP, 2017).

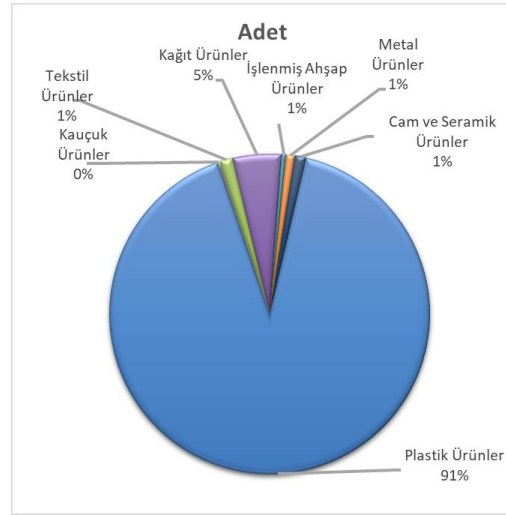


Şekil 3.101. Hersek plajı sahilde çöp çalışması örnekleme alanı (2020-2022)

2022 Yılında yaklaşık 411 m²'lik alanda 451 adet çöp (1,1 adet/m²), plastik, kauçuk, tekstil, kağıt, ahşap, metal, cam/ seramik olacak şekilde, 7 kategoriye ayrılmıştır. Tüm alandaki çöplerin ağırlık dağılımına göre en çok plastik (yaklaşık %68) olduğu, bunu %14 oranında cam seramik ve %10 oranında kauçuk malzeme izlediği belirlenmiştir (Şekil 3.102b). çöp adeti üzerinden hesaplanan % dağılımlarına göre de yine plastik % 91 oranında en yüksek seviyede bulunmuştur (Şekil 3.102a). Bunu, %5 ile kağıt ürünler izlemektedir. Ayrıca 10 metrelik sahil çizgisinin karada kalan kısmı (CBS ile yaklaşık 50 m² olduğu tespit edilmiş) içinde 3 adet sigara izmariti tespit edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.102. Hersek plajında çöp ağırlık (a) ve sayı (b) dağılımı (2022)

Birim alandaki çöp miktarına göre hesaplanan Temiz Kıyı İndeksi (TKİ) (Alkalay ve diğ. (2007)) Hereke plajı için sonbahar dönemlerinde 2020 yılı için 90, 2021 yılı için 56, 2022 yılı için ise 20 olarak hesaplanmış ve plaj çok kirli (TKİ=>20) olarak sınıflandırılmıştır. Araştırma bölgesinde tespit edilen plaj çöplerinin toplam ağırlık ve adet sayısı 2020-2022 periyotları arasında karşılaştırıldığında 2022 yılında toplam çöp miktarının ağırlık ve adet bakımından azaldığı görülmektedir. Bu durumun örnekleme zamanı ve çevresel koşullardaki değişimlerle ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca 2022 yılında yapılan örnekleme çalışmasında örnekleme

zamanından 1 ay önce yapılan kıyı temizleme faaliyetinin de sonuçlara etkisi bulunmaktadır.

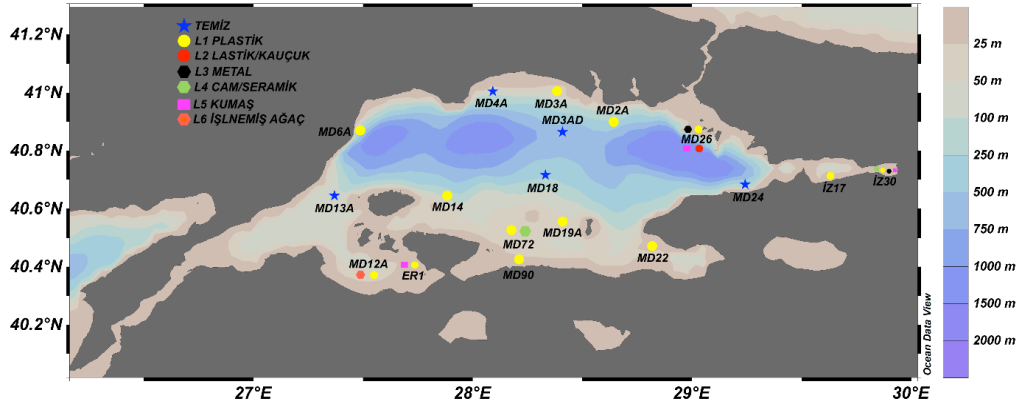


Şekil 3.103. 2020-2022 yılları sonbahar dönemi Hersek Plajının Temiz Kıyı İndeksi karşılaştırması

3.7.3 Deniz Tabanı Çöpleri

Deniz tabanı katı atık çalışmaları dip trol/algarna çalışmaları ile birlikte 2016, 2019 ve 2021 yıllarında yürütülmüştür. Tüm istasyonların bilgileri Şekil 3.104'de yer almaktadır. Trol çalışmaları süresince deniz zemininden toplanan katı atıklar Akdeniz'de Uluslararası Dip Trol Araştırması (International Bottom Trawl Survey in the Mediterranean - MEDITS)

(MEDITS-Handbook, 2017) kapsamında geliştirilen “Çöp tipolojisi ve kodlarının listesi” doğrultusunda sınıflandırılmıştır. MD24, MD18, MD13A, MD4A ve MD3AD nolu istasyonlarda yapılan örneklemeler sırasında herhangi bir katı atık materyaline rastlanmamıştır (Şekil 3.104).



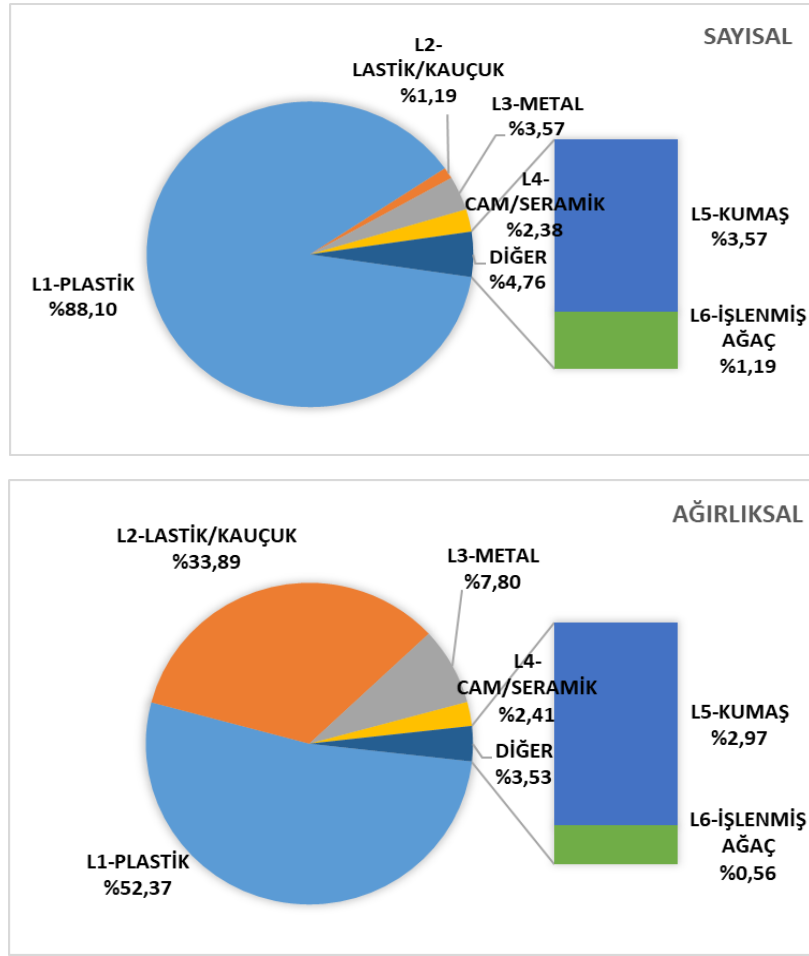
Şekil 3.104 İstasyonlara göre tespit edilen katı atık grupları

Çıkan katı atıklar içinde poşet parçaları ve pet şişeler sayısal bakımından diğer gruplara göre daha baskın olup, L1 plastik sınıfı toplam katı atık miktarının % 88,10'unu oluşturmaktadır. Katı atıklar içerisinde cam/seramik ve işlenmiş ağaçların oranı ise en düşük değerde

kalmıştır (Şekil 3.105). İstasyonlarda çıkan katı atık miktarı ve ağırlık değerleri Tablo 3.20'de verilmiştir. İstasyonlarda çıkan katı atık miktarı 30 ile 4658 adet/km² ve ağırlık değeri 0,16 ile 535,89 kg/km² arasında değişmektedir.

Tablo 3.20. İstasyonlara göre toplam katı atıkların miktarı ve ağırlıkları (2021)

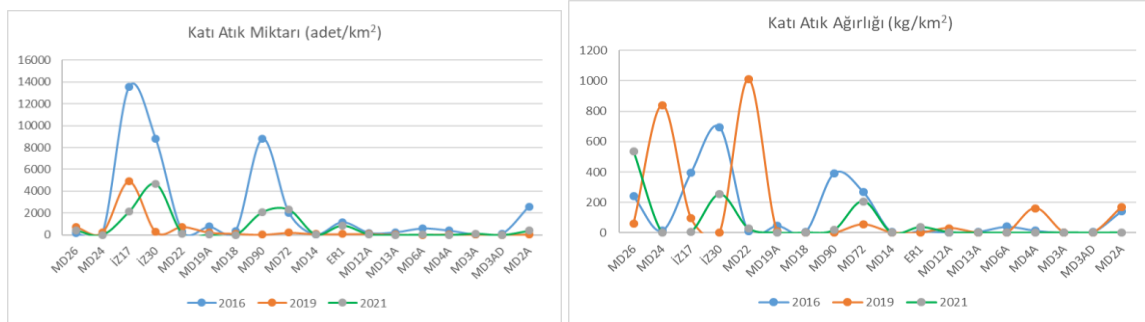
İstasyonlar	Katı Atık Ağırlığı (kg/km ²)		Katı Atık Miktarı (adet/km ²)	
	q=0,75	q=1	q=0,75	q=1
MD26	401,92	535,89	326	434
MD24	0	0	0	0
İZ17	4,45	5,93	1588	2117
İZ30	189,94	253,25	3494	4658
MD22	22,67	30,23	93	124
MD19A	0,56	0,75	22	30
MD18	0	0	0	0
MD90	15,06	20,08	1558	2077
MD72	155,62	207,49	1728	2304
MD14	0,63	0,84	47	62
ER1	27,86	37,15	648	864
MD12A	2,86	3,82	47	62
MD13A	0	0	0	0
MD6A	0,12	0,16	23	31
MD4A	0	0	0	0
MD3A	1,33	1,77	93	124
MD3AD	0	0	0	0
MD2A	1,16	1,54	289	386
Toplam	824,16	1098,88	9955	13274
Ortalama	45,79	61,05	553,08	737,44



Şekil 3.105. Katı atık gruplarının sayısal ve ağırlık olarak yüzde dağılımı (2021)

2016 yılında hesaplanan katı atık miktarı 22 ile 13.535 adet/km² ve ağırlık değerleri ise 6 ile 694 kg/km² arasında, 2019 yılında katı atık miktarı 30 ile 4896 adet/km² ve ağırlık değerleri ise 0,30 ile 1009 kg/km² arasında ve 2021 yılında katı atık miktarı ise 30 ile 4658 adet/km² ve ağırlık değeri ise 0,16 ile 535,89 kg/km² arasında değişmektedir.

Katı atıkların kaynağı karasal olduğu gibi gemi trafiğinden de kaynaklanabilir. Marmara Denizi etrafında nüfus yoğunluğu en fazla olan şehirlerin bulunması, bölgede katı atık kirliliğinin yüksek olmasına yol açmaktadır. İstanbul Prens Adaları, İzmit Körfezi ve Bandırma Körfezi en fazla katı atıklarının bulunduğu bölgelerdir.



Şekil 3.106. 2016, 2019 ve 2021 yıllarına ait istasyonlara göre katı atık miktarı (adet/km²) ve katı atık ağırlığı (kg/km²)

3.8 Kıyı Su Yönetim Birimlerinin Baskı ve Ekolojik Kalite Durum Değerlendirmesi

3.8.1 Baskıların Değerlendirilmesi

Su Çerçeve Direktifi kapsamında doğal yaşam, ekolojik dengeler ve bunları olumsuz etkileyen insan kaynaklı baskıların ilişkilendirilmesi yönetsel hedeflerin oluşturulması ve önlem planlamaları için gereklidir. Bu değerlendirmelerin sübjektif tahminler yerine bilimsel veriler ile yapılabilmesi için geliştirilen yöntemlerden olan LUSI/LUSIV al baskı ölçütü ile etki (biyolojik tepki) ölçütlerinin karşılaştırılması (Flo ve diğ., 2011; Romero ve diğ., 2013) kıyı su yönetim birimlerimiz (SYB) için kullanılmıştır (TÜBİTAK-MAM ve ÇŞB-ÇYGM, 2014; Ediger ve diğ., 2015; Tan ve diğ., 2017).

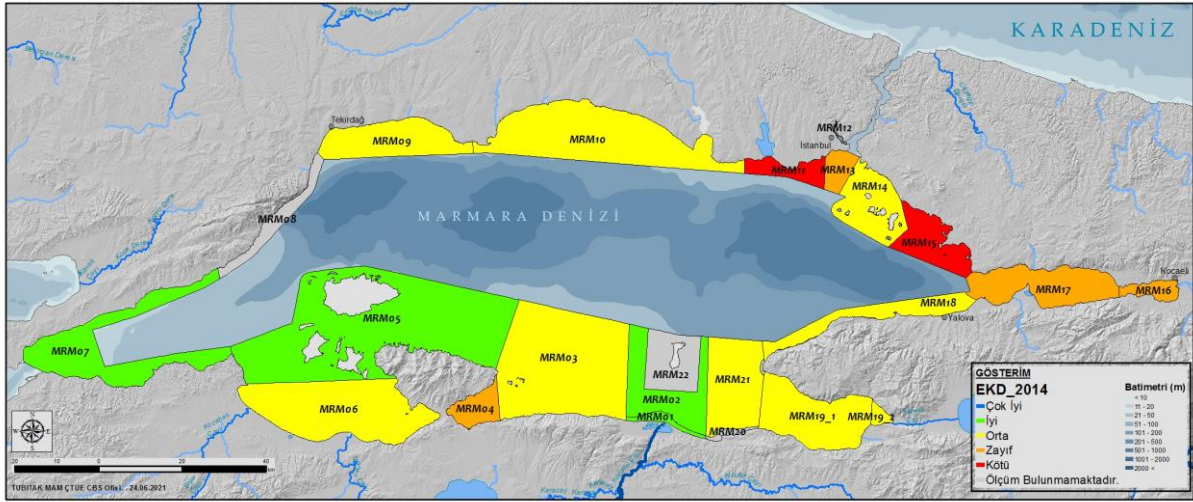
2014-2022 yılı sonuçları incelenerek yapılan değerlendirme sonuçlarına göre, Marmara Denizi'nde LUSI ve LUSIV al hesaplamaları sırasıyla 3 - 6,25 ve 3 - 10 arasında değişim göstermiştir (Şekil 3.107). En düşük baskı değerleri (LUSI/LUSIV al < 3) MAR03, MAR05, MAR07 ve MAR08 su kütlelerinde bulunmuş olup, en yüksek baskı (LUSI/LUSIV al > 7) ise MAR04, MAR15, MAR16, MAR17, MAR19_1 ve MAR19_2'de hesaplanmıştır (Şekil 3.107). Kıyı morfolojisinin dış bükey ve akıntının yüksek olduğu yerlerde su kalış süresinin kısa olmasının yanı sıra arazi kullanımlarının düşük olduğu su kütlelerinde baskının düşük olduğunu göstermektedir. Kıyı morfolojisinin iç bükey ve akıntının düşük olan dolayısıyla su kalış süresinin uzun olduğu su kütlelerinde arazi kullanım oranlarının da yüksek olması durumunda yüksek baskı olduğu belirlenmiştir. Beklenildiği gibi körfezler, tersane, limanlar ve nehir girişlerinin olduğu (MAR04, MAR15, MAR16, MAR17 ve MAR19) su kütlelerinde LUSIV al skorları LUSI skorlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Marmara Denizi'nin kuzey kıyıları, nüfus ve sanayi tesisleri baskısı altında iken güney şelfinde yayılı kaynak etkisinin daha baskın olduğu bilinmektedir. Örneğin, Marmara Denizi'ne dökülen Susurluk, Biga ve Gönen Nehirleri güney şelfinde yer almaktadır.

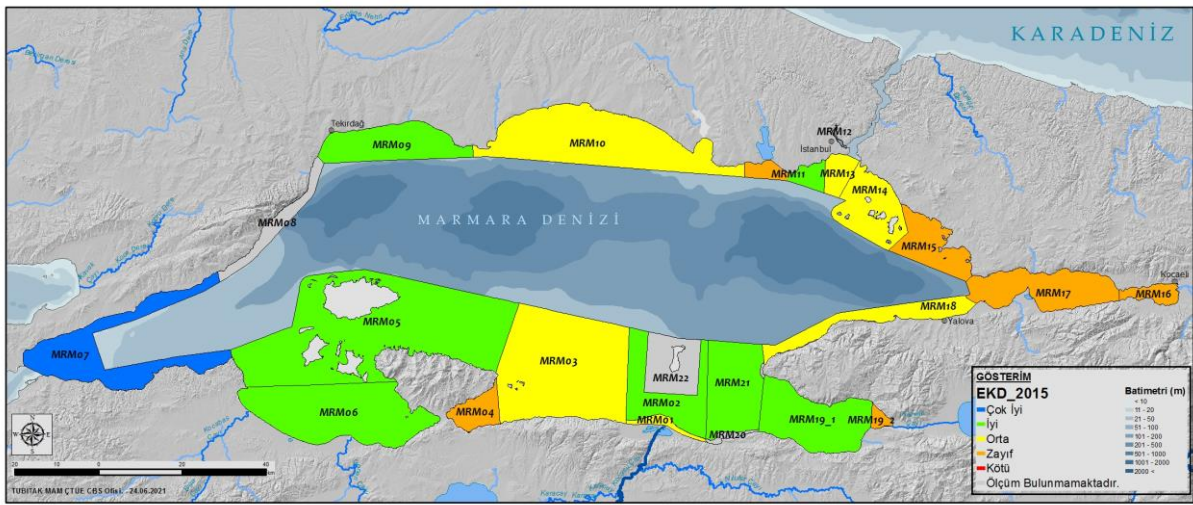
Marmara Denizi'nde atıksu arıtma tesisleri açısından en büyük sorun, nüfusu 15.907.591 (TUİK 2022 verilerine göre) kişiye varan İstanbul İli'ndeki birçok ilçenin atıksularını ön arıtma sonrasında derin deniz deşarjıyla uzaklaştırmasıdır.

Endüstrinin en yoğun olduğu İzmit ve Bursa illeri de Marmara Denizi havzaları içerisinde yer almaktadır. İzmit Körfezi atıksu arıtma tesisleri açısından yeterli kapasitede olup, endüstri ve liman faaliyetleri açısından çok yoğundur. Marmara Denizi'nde bulunan körfezlerin hepsi hassas alan statüsündedir. Söz konusu illerde, atıksu arıtma tesislerinin (İzmit Körfezi hariç) teknolojisinin değiştirilmesi gerekmektedir. Bu gibi körfezlerde sıfır deşarj gibi önlemler alınabilir.

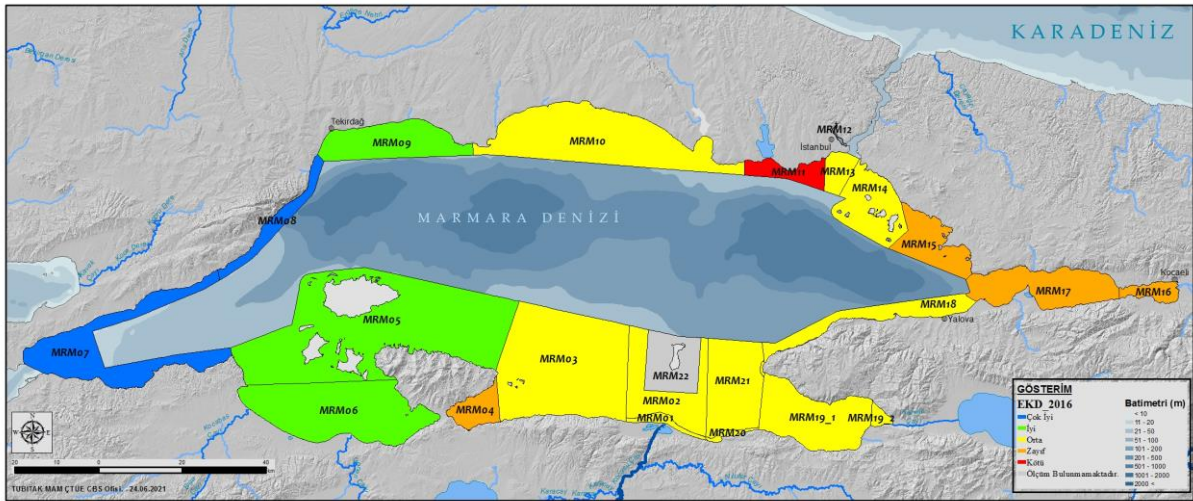
9 nolu SYB (Silivri – Tekirdağ İli Arası) Tarım ve Orman Bakanlığı ilgili yönetmeliğinde (TOB, 2016a) hassas alan olarak belirlenmiştir. Ancak, 2014-2022yılı sonuçları incelenerek yapılan değerlendirmede su kalitesinin mesotrofik (TOB, 2016b) olduğu görülmüştür. Şu anda, bu SYB üzerinde orta yoğunlukta evsel atıksu baskısı (Şekil 3.107) mevcuttur. Bu SYB, 2014-2022 verilerine göre yapılan ekolojik ve kimyasal kalite değerlendirmelerine göre “iyi” durumda olduğundan az hassas alan olarak değerlendirilebilir. Bu alan üzerinde ileride tekstil atıksularının deşarjı söz konusu olabilir ve buna bağlı olarak yüksek debili atıksuların girişi ile bu SYB'nin hassas alan statüsüne dönmesi kuvvetle muhtemeldir.



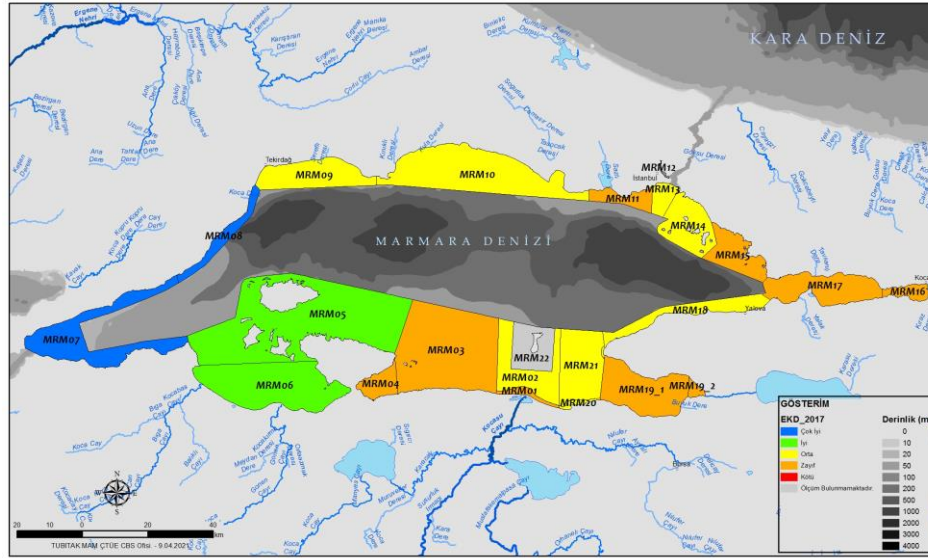
(a) 2014



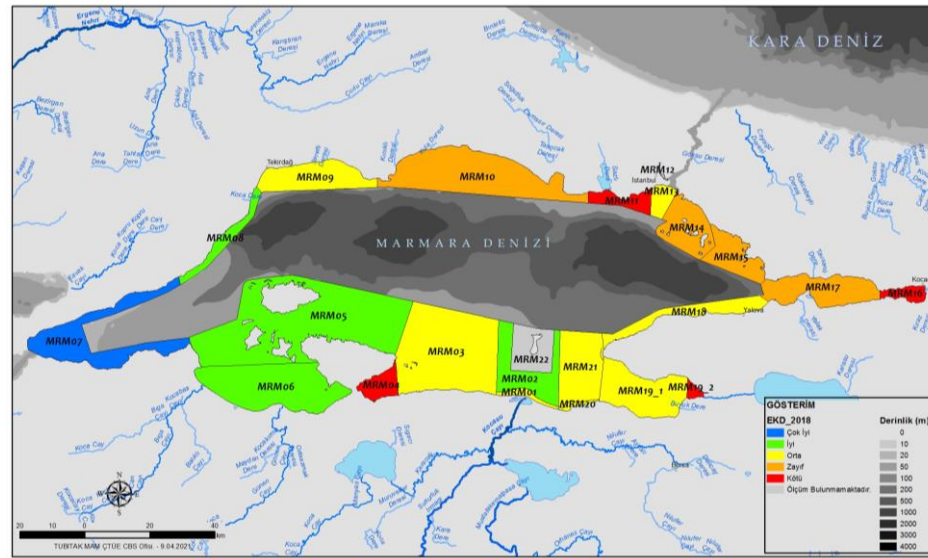
(b) 2015



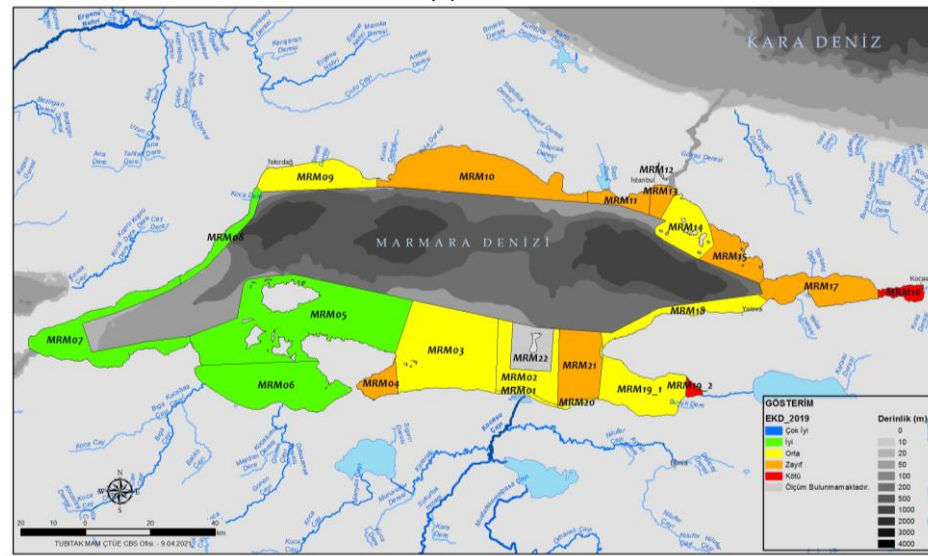
(c) 2016



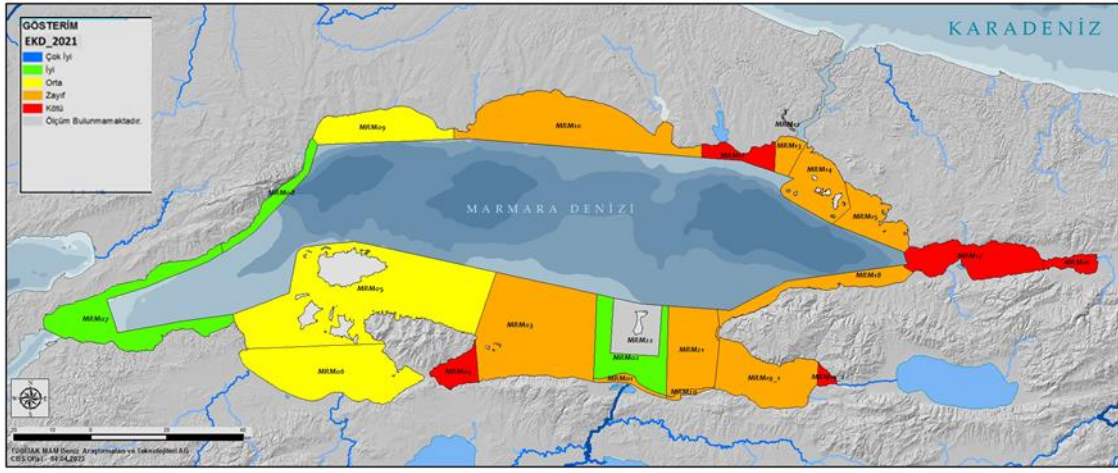
(d) 2017



(e) 2018



(f) 2019



g) 2021

Şekil 3.108. Marmara Denizi kıyı su kütleleri ekolojik durum değerlendirmesi (2014-2022)

3.8.3 Kimyasal Kirlenme Durumunun Değerlendirilmesi

Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı (DEN-İZ) kapsamında, 2021 yılında Marmara Denizi'nden alınan yüzey sediman örneklerinde sentetik (pestisitler, PCB'ler) ve sentetik olmayan (metaller, PAH'lar) kirleticiler analiz edilmiş ve kimyasal durum Çevresel Değerlendirme Kriteri (EAC) olarak kullanılan ERL değerleri üzerinden değerlendirilmiştir (Tablo 3.21).

DEN-İZ Programı çerçevesinde Marmara Denizi'nde; 2014–2015 yıllarında 12 istasyon, 2016 yılında alansal dağılımın daha iyi anlaşılabilmesi için 27 istasyon, 2018'de istasyon sayısı 41'e çıkarılarak ve 2021'de 44 istasyona ulaşacak şekilde sediman örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Önceki yıllara (2014, 2015, 2016 ve 2018) kıyasla, 2021 yılında da istasyonların kimyasal durumunun büyük ölçüde korunduğu saptanmıştır.

Ayrıca, Şekil 3.109'da sedimanda tüm kirleticiler parametrelerin ERL ve ERM eşik değerlerine göre istasyonlara dağılımı yüzdesel (%) olarak gösterilmektedir. ERL ve ERM değerleri, sedimandaki kirleticilerin olası biyolojik etkilerini değerlendirmede alt ve üst eşik değerler olarak kullanılmakta; ERL'nin altındaki seviyeler düşük risk, ERL–ERM arası potansiyel risk, ERM'nin üzerindeki konsantrasyonlar ise yüksek risk düzeyi olarak yorumlanmaktadır (Long, 1995; MacDonald ve diğerleri, 2000).

Marmara Denizi su yönetim birimlerinin pestisitler (DDT ve türevleri) açısından kimyasal durumunun genel olarak ERL–ERM aralığında olduğu (%66) ve bu nedenle potansiyel bir risk oluşturduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, Bölüm 3.6.1'de ayrıntılı biçimde sunulduğu üzere, DDT kontaminasyonunun büyük ölçüde çevrede geçmiş dönemlerde birikmiş

DDT'nin bozunma ürünlerinden kaynaklandığına işaret edilmektedir.

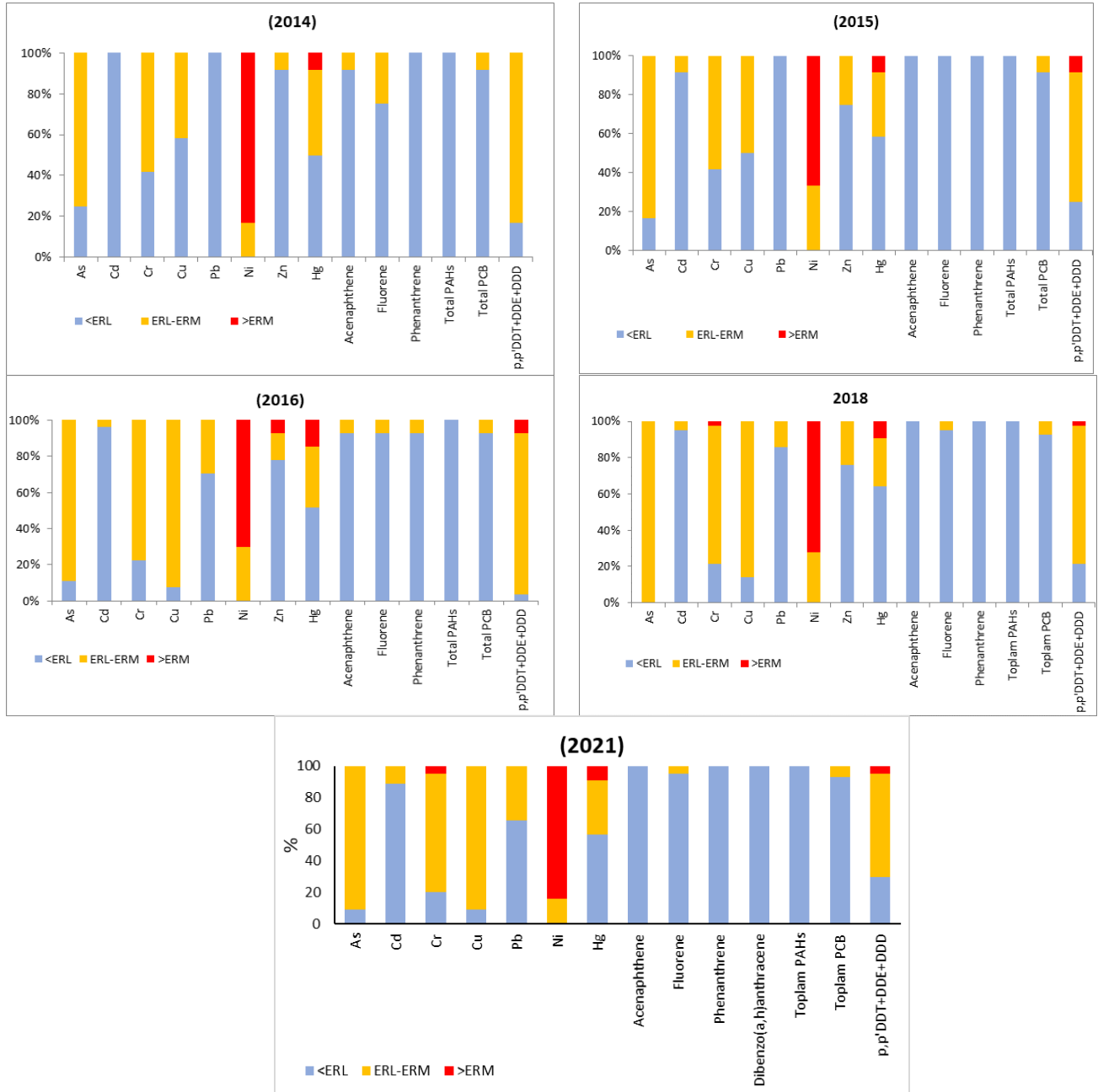
PCB'ler açısından yapılan değerlendirmede, İzmit Körfezi'ndeki istasyonlar (İZ30, İZ25 ve İZ15) dışında kalan istasyonların %93'ünde konsantrasyonların ERL değerinin altında olduğu saptanmıştır. Bu durum, söz konusu istasyonlarda PCB kirliliğinin düşük seviyelerde olduğunu ve toksik etki riskinin oldukça sınırlı olduğunu göstermektedir.

2021 yılı verileri istasyon bazında değerlendirildiğinde, İzmit Körfezi'ndeki İZ15 istasyonunda Acenaphthylene ve Fluorene konsantrasyonlarının, İZ25 istasyonunda ise Fluorene konsantrasyonunun ERL (Effect Range Low) eşik değerini aştığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, Gemlik Körfezi'ndeki Küçük Kumla (KUMDE) istasyonunda Naphthalene seviyeleri ERL değerinin üzerinde ölçülmüştür. Bu istasyonlar haricindeki diğer tüm noktalarda, bireysel Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) bileşenlerinin tamamının ERL eşik değerinin altında kaldığı tespit edilmiştir. Genel olarak, İzmit Körfezi'ndeki İZ15 ve İZ25 istasyonları dışındaki bölgelerde PAH kirliliği açısından olumlu bir durum gözlenmektedir. İzmit Körfezi'nde yer alan ilgili istasyonlarda, Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) bileşenlerinin bazılarının istisnai durumları dışında, toplam PAH konsantrasyonlarının genel olarak tüm izleme noktalarında olduğu gibi ERL (Effect Range Low) eşik değerinin altında seyrettiği saptanmıştır. PAH'ların çoğunlukla pirolitik kökenli olduğu tespit edilmiştir.

Marmara Denizi'nin özellikle endüstriyel faaliyetlerin yoğunlaştığı körfez bölgelerinde (İzmit, Gemlik, Bandırma) sedimanlardaki ağır metal

konsantrasyonları potansiyel risk taşımaktadır (Tablo 3.21). Genel olarak, sediman istasyonlarında arsenik, bakır ve krom gibi elementler sıklıkla ERL-ERM aralığında bulunurken; krom (%5), nikel (%84) ve cıva (%9) ise bazı istasyonlarda ERM eşik değerini aşarak yüksek risk düzeyini işaret etmektedir (Şekil 3.109).

Nikel ve krom konsantrasyonlarının doğal jeolojik kökenli olabileceği dikkate alınmalı, arka plan değerleri incelenmelidir. Özellikle İzmit Körfezi'nde saptanan yüksek cıva seviyeleri, ERM değerlerinin belirgin şekilde üzerinde olmasıyla özellikle dikkat çekmektedir.



Şekil 3.109. Marmara Denizi sediman istasyonlarında kirleticilerin % dağılımları (2014-2021)

<ERL:Ekosisteme etki açısından düşük etki seviyesinin altında
 ERL-ERM:Ekosisteme etki seviyesi düşük-ort arasında
 >ERM: Ekosisteme etki seviyesi ortanın üstünde

Tablo 3.21.Sedimanda Metal ve Organik Kirletici Bulgularının ERL değerlendirmesi ile kalite sınıflandırması (2021)

İst No	SYB No	Naph thalene	Acenap hthylene	Acenap hthene	Fluo rene	Phenan threne	Anth racene	Fluo ranthene	Pyrene	Benzo a anth racene	Chry sene	Benzo a pyrene	Dibenzo_ a_h_ anthracene	PAHs total	Toplam PCB	DDT+ DDE+ DDD	pp DDT	pp DDE	pp DDD	Cd	Pb	Hg
MD19	MRM01																					
MD20	MRM01																					
SD1	MRM01																					
SD2	MRM01																					
MD19A	MRM02																					
SD3	MRM02																					
MD72	MRM03																					
BK1	MRM04																					
MD87	MRM04																					
MD67	MRM05																					
BD3	MRM05																					
KD2	MRM05																					
BD1	MRM06																					
MD12A	MRM06																					
GD1	MRM06																					
ER1	MRM06																					
D7	MRM07																					
HOSK	MRM08																					
MED2	MRM09																					
MD59	MRM09																					
MD3	MRM10																					
MD54	MRM10																					
KC1	MRM11																					
M8	MRM13																					
MDADA3	MRM14																					
YSA2	MRM14																					
MDA4	MRM14																					
MY2	MRM15																					
M11	MRM15																					
IZ30	MRM16																					
IZ5C	MRM16																					
IZ25	MRM17																					
IZ7	MRM17																					
IZ9	MRM17																					
IZ15	MRM17																					
AR1	MRM18																					
MD24	MRM18																					
MD89A	MRM19																					
KUMDE	MRM19																					
MD90	MRM19																					
MD88	MRM19																					
MD22A	MRM19																					
MDSD1	MRM20																					
GK1	MRM21																					

KAYNAKLAR

AÇA, European Environment Agency, 2019. Oxygen concentrations in coastal and marine waters. Copenhagen K. Denmark.

Aktan, Y., Dede, A., Ciftci, P.S., 2008. Mucilage event associated with diatom and dinoflagellates in Sea of Marmara, Turkey. p. 1-3. In: Harmful Algae News. The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, No. 36, 20pp.

Alkalay, R., Pasternak, G. & Zask, A., (2007). Clean-coast index—A new approach for beach cleanliness assessment. *Ocean & Coastal Management*, 50 (5-6), pp. 352–362. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2006.10.002.

Bariche, M., Al-Mabruk, S., Ateş, M., Büyük, A., Crocetta, F., Dritsas, M., Edde, D., Fortič, A., Gavril, E., Gerovasileiou, V., Gökoğlu, M., Huseyinoglu, F., Karachle, P., Kleitou, P., Terbiyik Kurt, T., Langeneck, J., Lardıccı, C., Lıpej, L., Pavloudı, C., Pınna, M., Rızgalla, J., Rüştü Özen, M., Sedano, F., Taşkın, E., Yıldız, G., & Zangaro, F. (2020) “New Alien Mediterranean Biodiversity Records” 2020. *Mediterranean Marine Science*, 21(1): 129-145.

Balkis, N., Atabay, H., Türetgen, I., Albayrak, S., Balkis, H., 2011. Role of single-celled organisms in mucilage formation on the shores of Büyükada Island the Marmara Sea). *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*, 91, 771-781.

Bedikoğlu, D., Yılmaz, I. N., ve Demirel, N. (2022). Reproductive strategies and population characteristics of key Cladocera species in the Sea of Marmara. *Regional Studies in Marine Science*, 54, 102450.

Beşiktepe, Ş, Özsoy, E., Ünlüata, Ü. (1993) Filling of the Marmara Sea by the Dardanelles lower layer inflow. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 40(9), 1815-1838. doi:10.1016/0967-0637(93)90034-z.

Chouksey, M. K., Kadam, A. N., & Zingde, M. D. (2004). Petroleum hydrocarbon residues in the marine environment of Bassein-Mumbai. *Marine Pollution Bulletin*, 49(7-8), 637-647.

Clark, M. J. R. (1992). Enhancement to the Pielou Method For Estimating The Diversity of Aquatic Communities. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1, 1559–1565. doi.org/10.1002/etc.5620111106

Colin, S. P., Costello, J. H., Graham, W. M., ve Higgins, J. (2005). Omnivory by the small cosmopolitan hydromedusa aglaura hemistoma. *Limnology Oceanography*. 50, 1264–1268. doi: 10.4319/LO.2005.50.4.1264

Cushing, D. H. (1990). Plankton production and year-class strength in fish populations: An update of the match/mismatch hypothesis. *Advances in Marine Biology*, 26, (1), 249-293. 10.1016/S0065-2881(08)60202-3

Cardoso, P.G., Brandão, A., Pardal, M.A., Raffaelli, D., Marques, J.C., 2005. Resilience of *Hydrobia ulva* populations to anthropogenic and natural disturbances. *Marine Ecology Progress Series* 289, 191–199

Commission Decision (EU) 2017/848 of 17 May 2017 laying down criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters and specifications

and standardised methods for monitoring and assessment, and repealing Decision 2010/477/EU.

Conley, D J, Jacob Carstensen, Gunni Ærtebjerg, Peter Bondo Christensen, Tage Dalsgaard, Jørgen L S Hansen, and Alf B Josefson. (2007), “Long-term changes and impacts of hypoxia in Danish coastal waters”. *Ecological Applications* 17. Eco Soc America: S165-S184.

Çınar, M.E., Bilecenoglu, M., Yokeş, B., Öztürk, B., Taşkın, E., Bakır, K., Doğan, A., Açık, Ş. 2021. Current status (as of end of 2020) of marine alien species in Turkey. *PLOS ONE* 16(5): e0251086.

ÇŞB-ÇEDİDGM ve TÜBİTAK-MAM (2017) Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme İşi 2014-2016 Marmara Denizi Özet Raporu, ISBN:978-605-5294-72-4, TÜBİTAK MAM Matbaası Gebze/Kocaeli, 71 sy., ANKARA-2017.

DİSSP, 2017. Deniz İzlemelerinde Standardizasyonun Sağlanması Projesi. Makroalg ve Deniz Çayırıları İzleme Kılavuzu (E.Taşkın ve G. Yıldız). ÇŞB ÇED İzin ve Denetim Müdürlüğü ve TÜBİTAK MAM, ISBN: 978-605-5294-84-7, Ankara-2019

Da, C., Liu G., Tang Q., and Liu J. 2013. Distribution, sources and ecological risks of organochlorine pesticides in surface sediments from the Yellow River Estuary, China. *Environmental Science Processes & Impacts*, 2013, 15, 2288.

Directive 2013/39/EU of The European Parliament and of the Council of 12 August 2013.

EC, (2013) “Commission Decision of 20 September 2013 Establishing, Pursuant to Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, the Values of the Member State Monitoring System Classifications as a Result of the Intercalibration Exercise and Repealing Decision 2008/ 915/EC”. *Official Journal of the European Union* (L 266/1-47).

Ediger D., Beken Ç.P., Feyzioğlu M.A., Şahin F., Tan İ. (2015) “Establishing Boundary Classes for the Quality Classification of Southeastern Black Sea Using Phytoplankton Biomass”. *Turkish Journal Of Fisheries and Aquatic Sciences*, 3: 1-10.

Elbrachter, M., Qi, Y.-Z. (1998) “Aspects of *Noctiluca scintillans* population dynamics. In: Anderson, D.M., Cembella, A.D., Hallegraeff, G.M. (Eds.)”, *Physiological ecology of harmful algal blooms*. NATO-ASI Series G41, pp. 315-335.

Elliff, C. I., & Kikuchi, R. K. (2015). The ecosystem service approach and its application as a tool for integrated coastal management. *Natureza & Conservação*, 13(2), 105-111.

EU, 2000. DIRECTIVE 2000/60/EC of the European parliament and of the council, of 23 October 2000, establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, G.U.C.E. 22/12/2000, L 327.

EU, 2008. DIRECTIVE 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council, of 17 June 2008, establishing a framework for Community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). *Official Journal of the European Commission*, G.U.C.E. 25/6/2008, L 164/19.

Ferreira, J.G., J.H. Andersen, A. Borja, S.B. Bricker, J. Camp, M. Cardoso da Silva, E. Garcés, A.S. Heiskanen, C. Humborg, L. Ignatiades, C. Lancelot, A. Menesguen, P. Tett, N. Hoepffner & U. Claussen (2010). Marine Strategy Framework Directive , Task Group 5 Report Eutrophication (April 2010) European Union and ICES, DOI 10.2788/86830^[1]_{SEP}.

- Flo, E., Camp, J., Garcés, E., (2011) “Assessment Pressure methodology, Land Uses Simplified Index (LUSI)”. (Personal communication WFD-CIS- phase II, Technical paper).
- Flo, E., Garcés, E., Camp, J., (2019). “Land Uses Simplified Index (LUSI): Determining Land Pressures and Their Link With Coastal Eutrophication”. *Frontiers in Marine Science* 6, 10.3389/fmars.2019.00018.
- Galgani F., D. Fleet, J. Van Franeker, S. Katsanevakis, T. Maes, J. Mouat, L. Oosterbaan, I. Poitou, G. Hanke, R. Thompson, E. Amato, A. Birkun & C. Janssen (2010) Marine Strategy Framework Directive, Task Group 10 Report Marine Litter (April 2010).
- Göktürk, O. M., Çevik, S., Toque, N., Hordoir, R., H. Nagy, H. (2014) Effects of the Etesian Wind Regime on Coastal Upwelling, Floods and Forest Fires in the Seas of the Old World. "Journal of the Mediterranean and Black Sea Environment", special, (2014).
- Hays, G.C., Richardson, A.J., Robinson, C. (2005) “Climate change and marine plankton”. *Trends in Ecology & Evolution*, 20: 337-344.
- HELCOM, (2014) “Eutrophication status of the Baltic Sea 2007–2011 – A concise thematic assessment”. Baltic Sea Environment Proceedings No. 143.
- ICES CM 2003. Report of the Working Group on Marine Sediments in Relation to Pollution.
- İşinibilir, M., Kideys, A.E., Tarkan, A.N. ve Yilmaz, I.N. (2008). Annual cycle of zooplankton abundance and species composition in Izmit Bay (the northeastern Marmara Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78, 739-747. [10.1016/j.ecss.2008.02.013](https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.02.013)
- JRC (2013) Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. By MSFD Technical Subgroup on Marine Litter, EC- JRC Scientific and Policy Reports, Report EUR 26113 EN, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.
- Kideys, A.E. (2002) “Fall and Rise of the Black Sea Ecosystem”. *Science*, 297: 1482-1484.
- Kirchner, M., Sahling, G., Uhlig, G., Gunkel, W., Klings, K.W. (1996), “Does the red tide-forming dinoflagellate *Noctiluca scintillans* feed on bacteria?”. *Sarsia*, 81: 45e55.
- Kirchner, M., Sahling, G., Uhlig, G., Gunkel, W., Klings, K.W. (1996). Does the red tide-forming dinoflagellate *Noctiluca scintillans* feed on bacteria? *Sarsia*, 81: 45e55.
- Kirk, K., Gilbert, J. (1992) “Variations in herbivore response to chemical defences: zooplankton foraging on toxic cyanobacteria”. *Ecology*, 73: 2208.
- Long, E. R., & Morgan, L. G. (1990) “The potential for biological effects of sediments-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program”. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Long, E. R., Macdonald, D. D., , S. L., & Calder, F. D. (1995) “Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments”. *Environmental management*, 19(1): 81-97.
- MacDonald, D. D., Ingersoll, C., & Berger, T. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 39(1), 20-31.
- Malone, T. C., & Newton, A. (2020). The globalization of cultural eutrophication in the coastal ocean: causes and consequences. *Frontiers in Marine Science*, 7, 670.

- Neumann, T., Siegel, H., & Gerth, M. (2015). A new radiation model for Baltic Sea ecosystem modelling. *Journal of Marine Systems*, 152, 83-91.
- Nixon, S W. (1995) "Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns". *Ophelia* 41: 199–219. doi:10.1080/00785236.1995.10422044.
- Orfanidis, S., Panayotidis, P., Ugland, K.I., (2011) "Ecological Evaluation Index (EEI) application: a step forward in functional groups, formula and reference conditions value". *Mediterranean Marine Science*, 12: 199–231.
- OSİB, 2016a. Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında Yönetmelik (23 Aralık 2016, R.G Sayısı: 29927).
- OSİB, 2016b. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği (2016, R.G: 29797)" Ek 7 Tablo8b Marmara Denizi Kıyı Suları Ötrofikasyon Kriterleri.
- OSPAR, A. (2013) "Assessment of the Ecological Coherence of the OSPAR Network of Marine Protected Areas in 2012". OSPAR Commission, London, UK, 76.
- OSPAR (2013) OSPAR Agreement 2013-8. Common Procedure for the Identification of the Eutrophication Status of the OSPAR Maritime Area. Supersedes Agreements 1997-11, 2002-20 and 2005-3. 67
- Pergent G. (2007) "Protocol for the setting up of Posidonia meadows monitoring systems. MedPosidonia Programme/RAC/SPA-TOTAL Corporate Foundation for Biodiversity and the Sea; Memorandum of Understanding N°21/2007/RAC/SPA_MedPosidonia Nautilus-Okianos.
- Polat-Beken, S.Ç, V. Tüfekçi, B. Sözer, E. Yıldız, M. Mantıkçı, H. Atabay, F. Telli-Karakoç, S. Hocaoglu, D. Ediger, L.Tolun, A. Olgun, 2008, 2009, 2010, 2011. Deniz Ortamında Musilaj/mukus Oluşumunu Denetleyen Faktörlerin Laboratuar Koşullarında İncelenmesi, TÜBİTAK 1001 Projesi, Proje no: 108Y083, Proje raporları, Ankara.
- Romero I., Paches M., Martinez-Guijarro R., Ferrer J., (2013) Glophymed: An index to establish the ecological status for the Water Framework Directive based on phytoplankton in coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 75: 218–223.
- Quevedo, M., Gonzales-Quiros, R., Anadon, R. (1999) "Evidence of heavy predation by *Noctiluca scintillans* on *Acartia clausi* (Copepoda) eggs of the central Cantabrian coast. *Oceanologica Acta*, 22: 127e131.
- Schaumann, K. &Gerdes, D. & Hesse, K.-J. (1988): Hydrographic and biological characteristics of a *Noctiluca scintillans* red tide in the German Bight, 1984. — *Meeresforsch.*, 32: 77–91.
- Siokou-Frangou, I., Shiganova, T., Christou, E. D., Kamburska, L., Gubanova, A., Konsulov, A., Khoroshilov, V. (2004). Mesozooplankton communities in the Aegean and Black Seas: A comparative study. *Marine Biology*, 144 (6), 1111–1126. doi.org/10.1007/s00227-003-1277-3
- Smith, Sherri L., MacDonald, Donald D., Keenleyside, Karen A., Christopher G. Ingersoll, L. Jay Field, A Preliminary Evaluation of Sediment Quality Assessment Values for Freshwater Ecosystems, *Journal of Great Lakes Research*, Volume 22, Issue 3, 1996, Pages 624-638.
- Sunar, F., Dervisoglu, A., Yagmur, N., Colak, E., Kuzyaka, E., Mutlu, S. (2022). "How efficient can Sentinel-2 data help spatial mapping of mucilage event in the Marmara Sea?." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 181-186.

Sunar, F., Dervişoğlu, A., Yağmur, N., Aslan, E., Atabay, H. (2023a). The Spatial Distribution of Selected Optical Active Components in the Gulf of Izmit Using Bivariate/multivariate Regression Analysis. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 48, 361-366.

Sunar, F., Dervisoglu, A., Yagmur, N., Aslan, E., Ozguven, M. (2023b). Analyzing the Retrieval Accuracy of Optically Active Water Components from Satellite Data under Varying Image Resolutions. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 48, 595-600.

Sunar, F., Dervisoglu, A., Yagmur, N., Atabay, H., Donertas, A. (2024). Comparison of conventional and machine learning regression models for accurate prediction of selected optical active components—A case study: The Gulf of Izmit. Marine Pollution Bulletin, 208, p.116942.

Tan, İ., Polat Beken, S. Ç., Öncel, S., (2017) “Pressure-Impact Analysis Of The Coastal Waters of Marmara Sea”, Fresenius Environmental, V: 26-40 No: 4/2017 p: 2689-2699

Tasker M., M. Amundin, M. Andre, A. Hawkins, W. Lang, T. Merck, A. Scholik-Schlomer, J. Teilmann, F. Thomsen, S. Werner Marine Strategy Framework Directive Task Group 11 Report: underwater noise and other forms of energy JRC Scientific and Technical Reports (2010), p. 55.

Taşkın, E. (2016) “Biodiversity of Macroflora of the Sea of Marmara (Turkey). In: Özsoy, E., Çağatay, M.N., Balkıs, N., Balkıs, N., Öztürk, B. (Eds). *The Marmara Sea Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance*”. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV). Publication No: 42, Istanbul, TURKEY. pp. 344-365.

Taşkın, E., Çakır, M., Akçalı, A., Sungur, Ö. (2019) “Benthic marine flora of the Marmara Sea (Turkey)”. Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment, 25(1): 1-28.

Taşkın, E., Tsiamis K., Orfanidis, S. (2018) “Ecological quality of the Sea of Marmara (Turkey) assessed by the *Marine Floristic Ecological Index (MARFEI)*”. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 24(2): 97-114.

Tas, S., Kus, D. And Yilmaz, I. N., 2020. Temporal variations in phytoplankton composition in the northeastern Sea of Marmara: potentially toxic species and mucilage event. *Mediterranean Marine Science*, 21(3), 668-683. doi:<https://doi.org/10.12681/mms.22562>.

TÜBİTAK-MAM&ÇŞİDB (2011) Türkiye Kıyılarında Kentsel Atıksu Yönetimi: Sıcak Nokta ve Hassas Alanların Yeniden Tanımlanması: Atık Özümsenme Kapasitelerinin İzleme Modelleme Yöntemleriyle Belirlenmesi ve Sürdürülebilir Kentsel Atıksu Yatırım Planlarının Geliştirilmesi Projesi (SINHA Projesi).

TÜBİTAK-MAM ve ÇŞB-ÇYGM (2014) “Deniz ve Kıyı Suları Kalite Durumlarının Belirlenmesi ve Sınıflandırılması Projesi (DeKoS)”. ÇTÜE 5118703, Rapor No. ÇTÜE.13.155 (Sonuç Raporu), Şubat 2014, Gebze-Kocaeli. 204–217.

Tüfekci, V., Balkis, N., Polat Beken, Ç., Ediger, D., Mantikci, M., 2010. Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Biology*, 34, 199-210.

Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği (Resmi Gazete Tarihi: 29.12.2011 Resmi Gazete Sayısı: 28157 (3.mükerrer))

UNEP/MAP 2005. Sampling And Analysis Techniques for the Eutrophication Monitoring Strategy of MED POL, MAP Technical Series Reports, No.163, Athens.

UNEP/MAP (2013) Proposed GES and Targets regarding Ecological Objectives on biodiversity and fisheries (Joint session of the Eleventh Meeting of Focal Points for SPAs and COR-GEST on Biodiversity & Fisheries).

UNEP/MAP (2016a) UNEP(DEPI)/MED IG.22/28. Report of the 19th Ordinary Meeting of the Contracting Parties to the Convention For The Protection of The Marine Environment and the Coastal Region of The Mediterranean and its Protocols.

UNEP/MAP (2016b) UNEP(DEPI)/MED IG.22/10. Draft Decision: Integrated Monitoring and Assessment Programme of the Mediterranean Sea and Coast and Related Assessment Criteria, Athens 2015.

UNEP MAP, 2011. Development of Assessment Criteria for Hazardous substances in the Mediterranean. UNEP(DEPI)/MED WG. 365/Inf.8.

US Environmental Protection Agency, 1998. EPA's contaminated sediment management strategy. EPA-823-R-98-001. Washington, DC.

US Environmental Protection Agency (1997) The incidence and severity of sediment contamination in surface waters of the united states. Vols. 1–3. EPA 823-R-97-006. Science and Technology Office, Washington, DC

Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G. and Rinald, A. 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea, Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics*, 9: 329-357. WFD, 2000. Directive 2000/60/EC of The European Commission.

Weaver, K. 2010. "Estuary and Coastal Waters Numeric Nutrient Criteria: Workshop Introduction." Estuary Numeric Nutrient Criteria Public Meeting for Portions of the Florida Coast from Dixie County to Pasco County.

Yılmaz, I.N. (2015), "Collapse of zooplankton stocks during *Liriope tetraphylla* (Hydromedusa) blooms and dense mucilaginous aggregations in a thermohaline stratified basin". *Marine Ecology*, 36: 595-610.

Yilmaz, İ. N., Okuş, E., Yuksek, A. (2005) Evidences for influence of a heterotrophic dinoflagellate (*Noctiluca scintillans*) on zooplankton community structure in a highly stratified basin. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 64: 475-485 10.1016/j.ecss.2005.03.011

Yilmaz, I. N. (2015). Collapse of zooplankton stocks during *Liriope tetraphylla* (Hydromedusa) blooms and dense mucilaginous aggregations in a thermohaline stratified basin. *Marine Ecology*, 36 (3), 595-610. doi.org/10.1111/maec.12166

Zhou H, Sun Q, Wang X, Wang L, Chen J, Zhang J, et al. Removal of 2,4-dichlorophenol from contaminated soil by a heterogeneous ZVI/EDTA/Air Fenton-like system. *Sep Purif Technol*. 2014;132:346-53.

Zhou, QX, Kong, FX, Zhu, L. *Ecotoxicology: Principles and Methods*, Science Press, Beijing (2004), pp. 161-217.

Zettler, M.I., Schiedek, D. and Bobertz, B., (2007) Benthic biodiversity indices versus salinity gradient in the southern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 55: 358-270.

EKLER

EK1. Marmara Denizi istasyon ve örnekleme bilgileri

Sıra No	İstasyon tipi (kıyı/ deniz)	İstasyon Kodu	İstasyon yeri	SYB/ DDB No	Koordinatlar		Derinlik (m)	Kıydan uzaklık (m)	Fizikokimyasal Değişkenler	Biyolojik Değişkenler		Mikroplastik
					Enlem	Boylam				CTD, Çözünmüş Oksijen, Besin Maddeleri, Klorofil-a, Seki Disk Derinliği	Fitoplankton	
1	Kıyı	İZ2	İzmit Körfezi - Marmara Girişi	MRM17	40° 43' 59.880"	029° 20' 59.640"	325	2483	X			
2	Kıyı	İZ9	İzmit Körfezi	MRM17	40° 43' 40.080"	029° 27' 59.400"	50	1230	X			X
3	Kıyı/ Hassas	İZ7	İzmit Körfezi kuzey kıyı	MRM17	40° 45' 48.960"	029° 27' 38.880"	68	773	X			
4	Kıyı	İZ15	İzmit Körfezi	MRM17	40° 45' 57.960"	029° 37' 03.000"	56	1656	X			
5	Kıyı/ Hassas	İZ17	İzmit Körfezi - Orta	MRM17	40° 43' 14.520"	029° 36' 50.400"	156	2720	X	X	X	X
6	Kıyı	İZ25	İzmit Körfezi doğu baseni girişi	MRM16/ MRM17	40° 43' 59.160"	029° 46' 57.360"	40	845	X			
7	Kıyı	İZ5C	İzmit Körfezi Dilburnu	MRM16	40° 44' 44.160"	029° 51' 15.840"	18	456	X			
8	Kıyı	İZ30	İzmit Körfezi - Körfez sonu	MRM16	40° 44' 12.480"	029° 53' 29.040"	28	1848	X	X	X	X
9	Kıyı	M20	Adalar Bölgesi	MRM15	40° 46' 19.560"	029° 12' 56.520"	510	4418	X			
10	Deniz/Referans	MD102	Çınarcık çukuru	MRMD1	40° 45' 47.520"	029° 04' 35.400"	1250	6839	X			
11	Kıyı/Hassas	MY2	PrensAdaları- Tuzla açık	MRM15	40° 49' 42.240"	029° 11' 19.320"	90	4018	X		X	
12	Kıyı/Hassas	MY1	Tuzla - Adalar Arası	MRM15	40° 51' 03.240"	029° 14' 26.520"	42	1337	X	X	X	
13	Kıyı	M11	PrensAdaları- Tuzla	MRM15	40° 51' 21.240"	029° 11' 04.920"	70	3166	X			
14	Kıyı	MDNEA	Prens Adaları	MRM15	40° 49' 39.360"	029° 06' 28.080"	65	846	X			
15	Kıyı	MDA6	-	MRM19	40° 51' 24.480"	029° 05' 33.720"	52	1307	X			
16	Kıyı	MD26	Adalar Bölgesi	MRM14	40° 50' 10.320"	029° 02' 13.200"	103	4628	X			
17	Kıyı	YSA	Adalar Bölgesi	MRM14	40° 51' 41.040"	028° 59' 09.600"	87	534	X			
18	Kıyı	MDA3	-	MRM19	40° 53' 25.800"	028° 59' 49.560"	46	2480	X			
19	Kıyı	YSA2	Adalar Bölgesi	MRM14	40° 54' 19.800"	029° 01' 22.080"	33	1523	X	X		
20	Kıyı	MDA4	-	MRM19	40° 56' 47.040"	029° 03' 12.960"	17	1872	X			
21	Kıyı	M3	İstanbul Boğazı - Marmara çıkışı doğu	MRM14	40° 57' 48.240"	028° 59' 52.440"	27	2614	X			
22	Boğaz	K0	İstanbul Boğazı - Karadeniz çıkışı	MRM13	41° 13' 32.160"	029° 07' 58.080"	70	1518	X	X	X	
23	Boğaz	B2	İstanbul Boğazı	MRM13	41° 01' 51.240"	029° 00' 50.400"	40	299	X			
24	Boğaz	B13	İstanbul Boğazı	MRM18	41° 09' 26.640"	029° 03' 17.640"	66	787	X			
25	Boğaz	B7	İstanbul Boğazı	MRM13	41° 05' 02.400"	029° 03' 46.080"	60	332	X			
26	Boğaz	M1	İstanbul Boğazı - Marmara çıkışı	MRM13	41° 00' 57.240"	028° 59' 47.400"	25	760	X			
27	Kıyı/ Hassas	M8	İstanbul Boğazı - Marmara Girişi	MRM13	40° 56' 21.480"	028° 56' 28.680"	65	5451	X	X	X	X
28	Kıyı/ Hassas	YK1	Yenikapı - Kıyı	MRM11	40° 56' 56.760"	028° 51' 26.280"	25	1785	X			X
29	Deniz	M14A	-	MRMD1	40° 55' 32.160"	028° 46' 31.080"	83	4493	X			
30	Deniz	M15	-	MRMD1	40° 53' 42.720"	028° 47' 57.480"	620	6787	X			
31	Geçiş-Kıyı/ Hassas	KC1	Küçükçekmece - Kıyı	MRM11	40° 58' 09.480"	028° 45' 20.160"	24	968	X	X		X
32	Kıyı/ Hassas	BC1	Büyükçekmece - Kıyı	MRM10	40° 56' 51.360"	028° 36' 16.200"	50	1824	X			
33	Deniz/ Hassas/	MD104	Büyükçekmece - Açık	MRMD1	40° 51' 28.080"	028° 28' 55.200"	820	14936	X	X		

Sıra No	İstasyon tipi (kıyı/ deniz)	İstasyon Kodu	İstasyon yeri	SYB/ DDB No	Koordinatlar		Derinlik (m)	Kıydan uzaklık (m)	Fizikokimyasal Değişkenler	Biyolojik Değişkenler		Mikroplastik
					Enlem	Boylam				CTD, Çözünmüş Oksijen, Besin Maddeleri, Klorofil-a, Seki Disk Derinliği	Fitoplankton	
	Referans											
34	Kıyı	MD3	Tekirdağ - Kıyı	MRM10	41° 00' 57.600"	028° 26' 51.360"	35	1573	X			
35	Kıyı	MSE	-	MRM10	41° 02' 25.080"	028° 20' 41.280"	35	1667	X			
36	Kıyı/Az Hassas	MD54	Silivri - Kıyı	MRM10	41° 03' 27.360"	028° 14' 29.040"	30	1330	X	X	X	
37	Kıyı	MCA	-	MRM10	41° 02' 32.640"	028° 05' 51.000"	24	1806	X			
38	Deniz	DİPTAR2Y	-	MRMD1	40° 41' 53.160"	027° 49' 37.200"	390	9212	X			
39	Kıyı	MD4A	Silivri-Ereğli arası	MRM10	40° 57' 37.800"	028° 04' 15.600"	80	8084	X			
40	Deniz/ Hassas/ Referans	MD103	Marmara Denizi - Orta Basen	MRMD1	40° 50' 29.400"	028° 00' 45.360"	1240	14397	X	X	X	
41	Deniz/ Hassas/ Referans	MD105	Marmara Denizi - Orta Basen	MRMD1	40° 52' 00.120"	027° 47' 16.440"	710	13163	X			
42	Kıyı/Az Hassas	MD86	Marmara Ereğlisi - Kıyı	MRM09	40° 57' 03.240"	027° 53' 34.440"	55	1149	X		X	
43	Kıyı	MED2	Marmara Ereğlisi	MRM09	40° 59' 31.560"	027° 44' 34.800"	15	2202	X	X		X
44	Kıyı	MED8	-	MRM09	40° 57' 55.800"	027° 44' 26.160"	50	4783	X			
45	Kıyı/Az Hassas	MD59	Tekirdağ - Kıyı	MRM09	40° 57' 39.600"	027° 31' 29.280"	22	1242	X	X	X	
46	Kıyı	MD6A	Tekirdağ açığı	MRM09	40° 54' 00.720"	027° 29' 56.760"	66	2214	X			
47	Deniz/Az Hassas/ Referans	MD101	Tekirdağ - Açık	MRMD1	40° 49' 14.880"	027° 31' 08.400"	1105	6049	X	X		
48	Deniz	DİPTAR4Y	-	MRMD1	40° 45' 25.560"	027° 25' 33.240"	480	5612	X			
49	Kıyı/ Az Hassas	HOSK	Hoşköy	MRM08	40° 42' 21.600"	027° 19' 27.480"	25	841	X			
50	Deniz	MD13A	Tekirdağ - Marmara Adası Arası	MRMD1	40° 39' 21.960"	027° 24' 09.720"	151	6729	X			
51	Kıyı	D7MA	Şarköy (Çanakkale)	MRM07	40° 33' 22.680"	027° 01' 20.640"	30	2048	X	X		
52	Boğaz	D7	Çanakkale Boğazı	MRM07	40° 24' 19.080"	026° 42' 29.880"	68	1755	X	X		X
53	Kıyı	MD10C	-	MRM07	40° 25' 59.160"	026° 47' 21.120"	96	3111	X			
54	Kıyı	MD10B	-	MRM07	40° 27' 39.960"	027° 00' 29.880"	50	5747	X			
55	Deniz	MD10A	Çanakkale Boğazı - Marmara Girişi	MRMD1	40° 31' 22.080"	027° 11' 27.240"	64	8434	X		X	
56	Kıyı	MD67	Marmara Adası-Güney	MRM05	40° 32' 55.680"	027° 34' 28.200"	60	2390	X	X	X	
57	Geçiş Suyu	BD3	Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi	MRM05	40° 25' 23.160"	027° 22' 30.000"	37	3721	X			
58	Geçiş Suyu	BD1	Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi	MRM06	40° 22' 34.320"	027° 20' 16.440"	13	1023	X	X		
59	Kıyı/ Hassas	MD63	Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi	MRM06	40° 19' 04.440"	027° 32' 35.880"	16	1704	X			
60	Kıyı	MD12A	Karabiga-Adalar-Erdek Körfezi	MRM06	40° 25' 22.440"	027° 32' 08.160"	44	4637	X	X	X	
61	Geçiş Suyu	GD3	Gönen çayı açıkları	MRM06	40° 23' 31.560"	027° 37' 58.080"	38	6275	X			
62	Geçiş Suyu	GD1	Gönen çayı ölü	MRM06	40° 19' 52.680"	027° 38' 13.560"	13	584	X	X		X
63	Kıyı	ER1	Erdek Körfezi	MRM06	40° 20' 37.320"	027° 48' 08.640"	33	1093	X	X		
64	Kıyı/ Hassas	MD66	Erdek Körfezi	MRM06	40° 25' 16.320"	027° 44' 05.640"	35	1378	X			
65	Kıyı	KD1	Kapıdağ Yarımadası-Kuzeybatı	MRM05	40° 32' 38.400"	027° 45' 14.760"	63	1753	X			
66	Deniz	DIPTAR3Y	-	MRMD1	40° 37' 53.040"	028° 36' 45.360"	399	8840	X			
67	Deniz	MD14A	Marmara Merkez Güney	MRMD1	40° 42' 10.440"	028° 07' 58.800"	420	25779	X			
68	Deniz	MD18	Marmara Merkez Güney	MRMD1	40° 42' 07.560"	028° 20' 29.760"	150	21295	X			
69	Kıyı/ Hassas	BK1	Bandırma Körfezi	MRM04	40° 22' 18.840"	027° 57' 51.480"	35	1326	X			
70	Kıyı/ Hassas	MD87	Bandırma Körfezi	MRM04	40° 23' 12.840"	027° 56' 33.360"	35	2375	X	X	X	
71	Kıyı/ Hassas	MD72	Bandırma Körfezi	MRM03	40° 24' 28.440"	028° 04' 27.480"	45	2818	X	X		

Sıra No	İstasyon tipi (kıyı/ deniz)	İstasyon Kodu	İstasyon yeri	SYB/ DDB No	Koordinatlar		Derinlik (m)	Kıyıdan uzaklık (m)	Fizikokimyasal Değişkenler	Biyolojik Değişkenler		Mikroplastik
					Enlem	Boylam				CTD, Çözünmüş Oksijen, Besin Maddeleri, Klorofil-a, Seki Disk Derinliği	Fitoplankton	
72	Kıyı	KD2	Kapıdağ Yarımadası-Kuzeydoğu	MRM05	40° 30' 36.720"	027° 58' 57.720"	37	1994	X			
73	Kıyı/Az Hassas	KR1	Bursa Kurşunlu-Kıyı	MRM03	40° 26' 26.520"	028° 15' 59.040"	47	4373	X			
74	Kıyı	MD19A	Bursa Bayramdere-Açık	MRM02	40° 32' 11.760"	028° 25' 29.640"	45	7897	X	X	X	
75	Kıyı	MD19	Bursa Bayramdere-Kıyı	MRM01	40° 24' 36.720"	028° 26' 54.600"	18	1688	X			
76	Geçiş Suyu	SD1	Susurluk Çayı-Giriş	MRM01	40° 24' 12.240"	028° 31' 07.320"	9	1043	X			X
77	Geçiş Suyu	SD2	Susurluk Çayı-Giriş	MRM01	40° 24' 27.720"	028° 31' 21.720"	10	1602	X	X		
78	Geçiş Suyu	SD3	Susurluk Çayı-Giriş	MRM02	40° 26' 57.840"	028° 33' 41.400"	52	7186	X	X	X	X
79	Kıyı/Az Hassas	MD20	Susurluk Çayı - Doğu	MRM01	40° 23' 06.720"	028° 35' 04.560"	20	1331	X			
80	Kıyı/Az Hassas	MDSD1	Mudanya Batı Kıyı	MRM20	40° 23' 06.720"	028° 43' 41.520"	21	276	X			
81	Kıyı/ Hassas	MDSD	Mudanya Batı Açık	MRM20/ MRM21	40° 24' 27.360"	028° 44' 40.560"	54	2086	X			
82	Kıyı/ Hassas	MD89A	Gemlik Körfezi	MRM19	40° 25' 46.920"	029° 08' 08.520"	40	734	X	X	X	X
83	Kıyı/ Hassas	KUMDE	Gemlik K./Kumla	MRM19	40° 28' 14.520"	029° 05' 16.440"	34	501	X			
84	Kıyı/ Hassas	MD88	Gemlik Körfezi	MRM19	40° 27' 52.200"	029° 02' 20.760"	69	11.06.1904	X	X		
85	Kıyı/ Hassas	MD90	Gemlik Körfezi	MRM19	40° 22' 50.160"	029° 02' 09.240"	68	1698	X			
86	Kıyı/ Hassas	MD22A	Gemlik Körfezi	MRM19	40° 22' 54.480"	028° 53' 08.520"	34	329	X			
87	Kıyı/ Hassas	MD22	Gemlik Körfezi	MRM19	40° 24' 56.880"	028° 54' 03.960"	100	4207	X	X	X	
88	Kıyı	GK1	Gemlik Körfez dışı	MRM21	40° 27' 01.440"	028° 45' 06.480"	63	6455	X	X		
89	Kıyı/Az Hassas	GK2	Gemlik K/Kuzey Batı	MRM19	40° 29' 43.800"	028° 49' 35.760"	37	1373	X			
90	Deniz	DİPTAR1Y	Marmara Güney Doğu	MRMD1	40° 55' 56.280"	028° 13' 33.960"	359	14740	X			
91	Deniz	M74A	Marmara Merkez Güney	MRMD1	40° 42' 13.320"	028° 33' 03.600"	485	15174	X			
92	Deniz	MD75	Armutlu (kuzeydoğu)	MRMD1	40° 40' 05.520"	028° 48' 01.800"	305	11431	X	X		
93	Kıyı/Az Hassas	AR1	Armutlu - Kıyı	MRM18	40° 35' 13.200"	028° 50' 31.920"	141	1750	X			
94	Deniz / Tarihsel	45C	Doğu derin basen	MRMD1	40° 47' 18.960"	028° 53' 19.320"	1200	11686	X	X	X	
95	Kıyı	CY1	Çınarcık kıyı	MRM18	40° 39' 33.840"	029° 05' 34.080"	180	1574	X	X		
96	Kıyı/ Hassas	MD24	Yalova - Kıyı	MRM18	40° 40' 00.840"	029° 15' 00.720"	44	745	X	X	X	X
97	Deniz/ Hassas/ Referans	MD3A	Büyükçekmece - Açık	MRMD1	40° 55' 23.520"	028° 27' 36.000"	117	9211	X			
98	Tarama Boşaltım Sahası	DTM1	-	MRMD1	40° 41' 35.160"	028° 42' 52.560"	322	16676	X			
99	Tarama Boşaltım Sahası	DTM2	-	MRMD1	40° 53' 08.520"	028° 15' 24.480"	490	19639	X			
100	Tarama Boşaltım Sahası	DTM3	-	MRMD1	40° 41' 29.760"	027° 58' 33.600"	406	19442	X			
101	Tarama Boşaltım Sahası	DTM5	-	MRMD1	40° 46' 57.720"	029° 11' 09.240"	172	6408	X			

EK 2. Trol/algarna çekim sahalarının koordinatları, derinlikler, çekim süreleri ve çekim hızları

İstasyon No	Koordinatlar		Örneklem Aracı	Çekim süresi (dk)	Çekim hızı (mil)	Derinlik (m)
	Başlangıç	Bitiş				
MD26	40°50'45" N 29°03'36" E	40°50'18" N 29°05'50" E	Trol	30	2,9	90
MD24	40°44'45" N 29°19'58" E	40°42'55" N 29°20'91" E	Trol	30	3	65
İZ17	40°42'34" N 29°37'76" E	40°42'40" N 29°38'36" E	Algarna	10	2,5	87
İZ30	40°44'00" N 29°55'40" E	40°44'02" N 29°54'70" E	Algarna	10	2,5	25
MD22	40°26'20" N 28°50'56" E	40°25'75" N 28°48'49" E	Trol	30	2,9	72
MD19A	40°32'15" N 28°25'50" E	40°31'31" N 28°23'85" E	Trol	30	3	46
MD18	40°42'18" N 28°20'20" E	40°42'78" N 28°18'44" E	Trol	30	2,9	150
MD90	40°24'38" N 28°06'73" E	40°24'26" N 28°05'13" E	Algarna	30	2,6	48
MD72	40°24'18" N 28°03'52" E	40°24'23" N 28°01'69" E	Algarna	30	2,5	45
MD14	40°37'91" N 27°50'38" E	40°37'72" N 27°52'28" E	Trol	30	2,9	62
ER1	40°21'20" N 27°46'73" E	40°21'84" N 27°45'30" E	Algarna	30	2,5	37
MD12A	40°24'85" N 27°30'63" E	40°25'00" N 27°28'78" E	Trol	20	2,9	45
MD13A	40°37'05" N 27°24'19" E	40°36'57" N 27°22'54" E	Trol	30	2,9	109
MD6A	40°52'63" N 27°28'85" E	40°53'66" N 27°29'81" E	Trol	30	2,9	69
MD4A	40°57'56" N 28°03'91" E	40°57'82" N 28°05'49" E	Trol	30	2,9	81
MD3A	40°57'76" N 28°24'37" E	40°57'01" N 28°25'79" E	Trol	30	2,9	75
MD3AD	40°55'91" N 28°25'26" E	40°55'43" N 28°26'45" E	Trol	30	2,9	130
MD2A	40°55'36" N 28°32'39" E	40°55'20" N 28°34'26" E	Algarna	30	2,8	82

EK 3. Makro flora istasyon bilgileri

İst. No	İst. Kodu	İstasyon	Su Kütlesi No	Örnekleme Yapılan Koordinat	
				Kuzey	Doğu
1	MDMA01	Susurluk Ağızı, Boğaz	MRM01	40°23'54"N	28°22'07"E
2	MDMA02	Kapıdağ	MRM04	40°27'51"N	27°42'40"E
3	MDMA03	Edincik-Enerji-SA	MRM06	40°18'48"N	27°46'55"E
4	MDMA04	Karabiga	MRM06	40°23'59"N	27°18'17"E
5	MDMA05	Lapseki	MRM07	40°24'17"N	26°47'07"E
6	MDMA06	Şarköy	MRM07-08	40°36'34"N	27°06'20"E
7	MDMA07	Tekirdağ	MRM09	40°57'37"N	27°29'54"E
8	MDMA08	M. Ereğlisi-Batı	MRM09	41°00'42"N	27°45'38"E
9	MDMA09	Silivri	MRM10	41°04'36"N	28°14'13"E
10	MDMA10	Büyükçekmece	MRM10	41°01'05"N	28°34'06"E
11	MDMA11	Yenikapı	MRM11	40°59'28"N	28°55'39"E
12	MDMA12	Kadıköy	MRM14	40°57'36"N	29°04'14"E
13	MDMA13	Adalar-İstanbul	MRM15	40°52'17"N	29°08'20"E
14	MDMA14	Kavaklıdere	MRM16	40°43'32"N	29°50'25"E
15	MDMA15	Değirmendere	MRM17	40°43'18"N	29°46'46"E
16	MDMA16	Hereke	MRM17	40°46'56"N	29°37'09"E
17	MDMA17	Eskihisar-MAM	MRM17	40°46'14"N	29°26'26"E
18	MDMA18	Çınarcık	MRM18	40°39'32"N	29°08'39"E
19	MDMA19	Armutlu	MRM19	40°30'28"N	28°50'43"E
20	MDMA20	Mudanya	MRM19	40°22'17"N	28°53'44"E
21	MDMA21	Susurluk Doğu	MRM01	40°21'54"N	28°38'02"E
22	MDMA22	Çardak (Çanakkale)	MRM07	40°23'31"N	26°44'09"E