T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MARMARA DENİZİ İSTANBUL KIYILARINDA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN TESPİTİ VE KARAKTERİZASYONU

Seren KARAÇAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. Hanife SARI ERKAN

Temmuz, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MARMARA DENİZİ İSTANBUL KIYILARINDA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN TESPİTİ VE KARAKTERİZASYONU

Seren KARAÇAM tarafından hazırlanan tez çalışması 05.07.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Hanife SARI ERKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hanife SARI ERKAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Güleda ENGİN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Nilgün BALKAYA, Üye
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa _____

Danışmanım Doç. Dr. Hanife SARI ERKAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Marmara Denizi İstanbul Kıyılarında Mikroplastik Kirliliğinin Tespiti ve Karakterizasyonu başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Seren KARAÇAM

İmza

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu’nun (TÜBİTAK) 119Y415 numaralı 1001 projesi ile desteklenmiştir.

Değerli hocalarıma

ve

arkadaşlarıma

TEŞEKKÜR

Dünya ve ülkemiz genelinde su ekosistemlerinde görülen ve kirliliğinin her geçen gün dikkat edici artışıyla tüm kamuoyunda bilinen ve aynı zamanda tüm canlıları olumsuz yönde etkileyen mikroplastik kirliliği hakkında, Marmara Denizi İstanbul Kıyılarında mikroplastik kirliliğine dikkat çekilmesi amacıyla yapılan ve TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında desteklenen bu çalışmada öncelikle, bu projenin yazılmasında, projenin onaylanması ve uygulanmasında en büyük emeği veren, aynı zamanda bu proje kapsamında çalışmama imkan veren ve bu proje konusundan yüksek lisans tezimin oluşmasına destek veren danışman hocam Doç. Dr. Hanife Sarı ERKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Proje süresince bilgi birikimini esirgemeyen, manevi açıdan bizleri her zaman destekleyen Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı değerli hocam Prof. Dr. Güleda ENGİN'e teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmada numunelerin alınmasında imkan sağlayan İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi'ne ve numunelerin alınmasında destek veren R/V YUNUS-S araştırma gemisi tüm ekip çalışanlarına teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarını birlikte yürüttüğüm ve her zaman yanımda olan değerli arkadaşlarım Dr. Nouha BAKARAKI TURAN, Şule KÖKÇÜ, Kadir AKGÜN ve Betül TAKATAŞ'a teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca bana manevi destek veren ve yardımını esirgemeyen arkadaşım Sema DİNÇ'e teşekkürlerimi iletirim.

Seren KARAÇAM

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii
KISALTMA LİSTESİ ix
ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xiv
ÖZET xv
ABSTRACT xvii
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti ... 1
1.2 Tezin Amacı ... 4
1.3 Hipotez ... 5
2 PLASTİKLER VE MİKROPLASTİKLER 6
2.1 Plastikler ... 6
2.1.1 Plastik Nedir? ... 6
2.1.2 Plastiğin Keşfi ... 7
2.1.3 Plastik Üretimi ve Atık Oluşumu ... 8
2.1.4 Plastiklerin Boyutlarına Göre Sınıflandırılması ... 11
2.1.5 Plastiklerin Uygulama Alanları ... 12
2.1.6 Plastiklerin Bozunması ... 15
2.2 Mikroplastik Nedir? ... 22
2.2.1 Mikroplastik Oluşumu ve Tarihçesi ... 22
2.2.2 Birincil ve İkincil Mikroplastikler ... 23
2.2.3 Mikroplastiklerin Özellikleri ... 25
2.2.4 Plastik Atık Birikim Kaynakları ... 30
2.2.5 Makro ve Mikro Plastik Atıkların Denize Ulaşması ... 34
2.2.6 Plastik Birikimin Etkileri ... 35
2.2.7 Plastik Kirliliğinin Kontrolü ve Önlenmesine Yönelik Girişimler ... 37
2.3 Marmara Denizi ve Mikroplastik Kirliliği ... 40
3 MATERYAL-METOT 46
3.1 Marmara Denizi İstanbul Kıyılarından Mikroplastik Numunelerinin Alındığı İstasyonlar ... 46
4 BULGULAR 66
4.1 Deniz Yüzey Suyunda Mevsimsel Mikroplastik Dağılımları ... 66

4.2 Deniz Yüzey Sularından İzole edilen Mikroplastiklere Ait Görseller 91
4.3 Yüzey Suyu Numunelerinde pH ve İletkenlik Ölçüm Sonuçları 94
4.4 FT-IR Analizlerine Ait Sonuçlar 101
5 SONUÇ VE ÖNERİLER **106**
5.1 Genel Değerlendirme 106
5.2 Öneriler 107
KAYNAKÇA **112**
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **125**

SİMGE LİSTESİ

g	Gram
km^2	Kilometrekare
L	Litre
m	Metre
µm	Mikrometre
mg	Miligram
mm	Milimetre
mS	Milisiemens
nm	Nanometre
cm	Santimetre
cm^3	Santimetreküp
°C	Santigrat
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
CBD	Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi
CMS	Göçmen Türler Sözleşmesi (CMS)
CR	Polikloropren (neopren)
CTD	Deniz Suyu Sıcaklık-Tuzluluk- Derinlik Ölçüm Cihazı
ÇO	Çözünmüş Oksijen
DBE	Deniz Bilimleri Enstitüsü
DSD	Derin Deniz Deşarjı
EPDM	Etilen Propilen Diene Monomer
EPS	Polistiren köpükler
FAO	Gıda ve Tarım Ulusal Birlikleri
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi
GESAMP	Birleşmiş Milletler Deniz Kirliliğinin Bilimsel Yönleri Üzerine Ortak Uzmanlar Grubu
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
İDO	İstanbul Deniz Otobüsleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
İSTAÇ	İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
İÜ	İstanbul Üniversitesi
KOK	Kalıcı Organik Kirleticiler
LDPE	Düşük Yoğunluklu Polietilen
LLDPE	Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen
MAM	Marmara Araştırma Merkezi
MAP	Makroplastik
MARPOL	Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi
MEP	Mesoplastik
MMP	Mini Mikroplastik
MP	Mikroplastik
MRN	Marina
MSFD	Avrupa Birliği'nin Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi

NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
NP	Nanoplastik
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
PA	Polyamide (naylon 6,6)
PA	Polyamide (naylon 6)
PC	Polikarbonat
PCB	Poli-Klorlu Bifeniller
PCDD	Poliklorlu Dibenzo-p-Dioksinler
PCDF	Dibenzo Furanlar
PE	Polietilen
PET	Poletilen Tereftalat
pH	Potansiyel Hidrojen
PIER	İskele
PLT	Plasticle
PMA	Polimetil metakrilat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PTFE	Politetrafloroetilen
PVC	Polivinil Klorür
SBR	Stiren Butadien Kauçuk
SD	Deniz Deşarjı
STK	Sivil Toplum Kuruluşu
STR	Denize Dökülen Akarsu Ağızları
TDS	Toplam Çözünmüş Katı Madde
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP)
UV	Ultraviyole
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
XPS	Polistiren köpükler

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Plastik atıkların taşınımı ve biyolojik etkişimleri [40], [137] 35

Şekil 3.1 Tez kapsamında mikroplastik numunesi alınan istasyonların Google Earth'deki lokasyonları (MRN, PIER, STR, DSD, SD) 49

Şekil 3.2 Tasarlanan manta netin tasarım ölçüleri..... 50

Şekil 3.3 İstanbul Üniversitesi'ne ait R/V Yunus-S adlı Araştırma Gemisi 50

Şekil 3.4 Manta net ile alınan numunelerin filtrelenmesi ve manta net ağının yıkanması 53

Şekil 3.5 CTD ölçümleri ve akıntı hızı ölçümleri..... 54

Şekil 3.6 Sonbahar dönemi Haliç'teki istasyonlardan deniz yüzey suyu ve sediment numunelerinin alınması..... 56

Şekil 3.7 Kış mevsimi deniz yüzey suyu numunelerinin alınması..... 58

Şekil 3.8 Kış mevsimi Haliç'ten deniz yüzey suyu ve sediment numunelerinin alınması..... 58

Şekil 3.9 Yüzey su numunelerinden manta net ile alınan materyalin ıslak eleme aşaması..... 61

Şekil 3.10 Kurutulan 0,3 mm elek üstü malzemenin ıslak peroksit oksidasyon işlemi 63

Şekil 3.11 Mikrolastiklerin yoğunluk farkı ile ayrılması..... 64

Şekil 3.12 Boyutu 1-5 mm arası mikroplastiklerin sayımı ve renk ve türdağılımlarının belirlenmesi 64

Şekil 3.13 Filtre kağıtlarının mikroskopta görsel analizi..... 65

Şekil 4.1 Eylül 2020'de marina istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 68

Şekil 4.2 Aralık 2020'de marina istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 69

Şekil 4.3 Sonbahar ve kış mevsimlerinde marinalarda fragment (a; d), film (b; e) ve filament (c; f) türlerindeki renk dağılımları 70

Şekil 4.4 Sonbahar'da iskele istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 72

Şekil 4.5 Kış mevsiminde iskele istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 73

Şekil 4.6 Sonbahar ve kış mevsimlerinde iskelelerde fragment (a; d), film (b; e) vefilament (c; f) türlerindeki renk dağılımları 75

Şekil 4.7 Sonbahar mevsiminde denize dökülen dere istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 76

Şekil 4.8 Kış mevsiminde denize dökülen dere istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 77

Şekil 4.9 Sonbahar ve kış mevsimlerinde STR istasyonlarında fragment (a; d), film (b; e)vefilament (c; f) türlerindeki renk dağılımları..... 79

Şekil 4.10 Sonbahar mevsiminde deniz deşarjı (SD) istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 81

Şekil 4.11 Kış mevsiminde deniz deşarjı (SD) istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 82

Şekil 4.12 Sonbaharvekış mevsimlerinde deniz deşarjı(SD) istasyonlarında fragment (a; d), film (b; e) ve filament (c; f) türlerindeki renk dağılımları..... 83

Şekil 4.13 Eylül 2020'de derin deniz deşarjı istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 85

Şekil 4.14 Aralık 2020'de derin deniz deşarjı istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 86

Şekil 4.15 Sonbahar ve kış mevsimlerinde derin deniz deşarjı istasyonlarında fragment (a; d), film (b; e) ve filament (c; f) türlerindeki renk dağılımları 87

Şekil 4.16 Eylül 2020'de Marmara Denizi, Karadeniz ve Haliç istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 88

Şekil 4.17 Aralık 2020'de Marmara Denizi, Karadeniz ve Haliç istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d) 89

Şekil4.18 Sonbahar ve kış mevsimlerinde Marmara Denizi, Karadeniz ve Haliç istasyonlarında fragment (a; d), film (b; e) ve filament (c; f) türlerindeki renk dağılımları 90

Şekil 4.19 Islak peroksit oksidasyonu aşaması, köpük ve pellet türü MP'ler ve quadrantta sayılacak MP'lere ilişkin görseller 92

Şekil 4.20 Deniz yüzey suyundan izole edilen fragment türü mikroplastikler..... 92

Şekil 4.21 Deniz yüzey suyundan izole edilen transparan film ve fragment parçacıkları ve fibreler 93

Şekil 4.22 Sonbahar mevsiminde MRN (a), PIER (b), STR (c), SD (d), DSD (e) ve MS-BS (f) istasyonlarındaki deniz yüzey suyu karakterizasyonları..... 95

Şekil 4.23 Kış mevsiminde MRN(a), PIER(b), STR(c), SD (d), DSD (e) ve MS-BS (f)istasyonlarındaki su analiz değerleri 97
Şekil 4.24 Deniz yüzey en yaygın tespit edilen polimer türleri 102
Şekil 4.25 En yaygın bulunan mikroplastik kimyasal tür spektraları 103
Şekil 4.26 Mikroplastik kimyasal tür spektraları 104
Şekil 4.27 Mikroplastik kimyasal tür spektraları 105

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Plastiklerin boyutlarına göre sınıflandırılması.....11
Tablo 2.2 Yaygın kullanılan plastik türleri ve kullanım alanları.....13
Tablo 2.3 Yaygın plastiklerin ultraviyole ışığa direnci.....18
Tablo 2.4 Plastik atık üzerindeki mekanik stres biçimleri 21
Tablo 2.5 Şekilsel olarak mikroplastik kategorileri 26
Tablo 2.6 Yaygın mikroplastiklerin yoğunluğu ve kaldırma kuvveti.....28
Tablo 3.1 Tez kapsamında deniz yüzey suyu ve dip sedimeti alınan istasyonların kodları ve açıklamaları 46
Tablo 3.2 Çalışma kapsamında deniz yüzey suyu alınan istasyonlar.....47
Tablo 3.3 Sonbahar seferinde numune alınan istasyonlardaki rüzgar yönü, rüzgar hızı, gemi hızı, akıntı hızı ve derinlik bilgileri 54
Tablo 3.4 Aralık-2020 seferi istasyonlardaki rüzgar yönü, rüzgar hızı, gemi hızı, akıntı hızı ve derinlik bilgileri 59
Tablo 4.1 MP bolluğu, türleri ve boyutlarının deniz suyu özellikleri ile ilişkisinin Pearson testi ile değerlendirilmesi 100
Tablo 4.2 MP bolluğu, türleri ve boyutlarının deniz suyu özellikleri ile ilişkisinin Spearman's rho testi ile değerlendirilmesi 100

ÖZET

Marmara Denizi İstanbul Kıyılarında Mikroplastik Kirliliğinin Tespiti ve Karakterizasyonu

Seren KARAÇAM

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Hanife SARI ERKAN

Bu tez çalışmasında, Marmara Denizi'nin İstanbul'a kıyısı olan kesimlerinde ve İstanbul Boğaz'ında günümüzde pek çok su kaynağını tehdit eden mikroplastik kirliliği mekânsal ve zamansal olarak araştırılmıştır. İstanbul'da deniz taşımacılığının yoğun olarak yapıldığı iskelelerde (PIER), sosyal aktivitelerin yoğun olduğu marinalarda (MRN) ve İstanbul'da ön arıtımı yapılmış atıksuların deniz deşarjı (SD) ve derin deniz deşarjı (DSD) ile denize deşarj edildiği noktalarda, denize dökülen nehir ve dere ağızlarında (STR) mikroplastiklerin miktarı ve karakterizasyonu bu tez çalışması kapsamında detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

Tez çalışması kapsamında İstanbul kıyıları ve İstanbul Boğazı'nda seçilen toplam 46 istasyondan Eylül 2020 ve Aralık 2020 tarihlerinde iki mevsimde deniz yüzey suyu numuneleri alınmış ve laboratuvarda mikroplastik izolasyon ve tanımlama analizleri gerçekleştirilmiştir.

Manta net ile deniz yüzey suyundan alınan numunelerdeki mikroplastik dağılımları oluşturulan 5 farklı kategorideki istasyonlar açısından (MRN, PIER, STR, SD ve DSD) mevsimsel değişikliklerle birlikte değerlendirilmiştir. Her iki mevsim için mikroplastik konsantrasyonları standart sapmaları ile birlikte, sonbahar mevsiminde 1.252.649,8±3.451.951,1 MP/km^2, kış mevsiminde ise 3.661.516,0±15.449.816,0 MP/km^2 değerlerinde elde edilmiştir. Çalışma boyunca MP tespit edilemeyen hiçbir istasyon söz konusu olmayıp en düşük MP konsantrasyonları 31.825,7 MP/km^2 değerinde sonbahar mevsiminde Bostancı Deniz Otobüsü İskelesi civarından alınan numunede (PIER-5) tespit edilmiştir. Deniz yüzey suyunda en yüksek MP konsantrasyonları Haliç-Kağıthane Deresi, Eminönü-Karaköy iskeleleri, Üsküdar iskelesi ve Beşiktaş iskelesine ek olarak Ambarlı Deresi çıkışında tespit edilmiştir.

Deniz yüzey suyunda 1-5 mm arası boyuta sahip fragment türü MP'lerin özellikle MRN, STR ve PIER istasyonlarında baskın olduğu gözlenirken, SD ve DSD istasyonlarında filament türü MP'lerde yoğun olarak tespit edilmiştir. Film türü MP'ler diğer yaygın rastlanan MP'ler olarak tespit edilmişken, granül/pelet ve köpük türü MP'ler ise yüzdesel olarak oldukça düşük bulunmuştur.

Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi (FTIR) analiz sonuçlarına göre su yüzeyinden izole edilen mikroplastiklerin yüzdesel oranları %43 polietilen, %22 polipropilen, %12 yüksek yoğunluklu polietilen, %10 polistiren, %4 natural latex rubber, %3 etilen propilen, %2'lik oranlarda SBR siyah (kauçuk türü), EPDM 03 PPTFE (etilen propilen kauçuk ve teflon kaplı) ve etilen vinil asetat kopolimeri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Marmara Denizi, İstanbul Boğazı

ABSTRACT

Detection and Characterization of Microplastic Pollution on the Shores of Istanbul of the Marmara Sea

Seren KARAÇAM

Department of Environmental Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hanife SARI ERKAN

In this thesis, microplastic pollution, which threatens many water resources today, was investigated spatially and temporallyin the parts of the Marmara Sea that has a coast to Istanbul and the Bosphorus. The amount and characterization of microplastics in the piers (PIER) where sea transportation is carried out intensively in Istanbul, in marinas with intense social activities (MRN), at the points where treated or pre-treated wastewater is discharged to the sea by sea discharge (SD) and deep sea discharge (DSD) from Istanbul and in rivers mouths (STR) flowing into the sea were investigated in detail within the scope of the thesis.

Within the scope of the thesis, two seasons sea surface water samples were taken from a total of 46 stations selected on the shores of Istanbul and the Bosphorus between September 2020 and December 2020, and microplastic isolation and identification analyzes were carried out in the laboratory.

Microplastic distributions in samples taken from sea surface water with manta net were evaluated together with seasonal changes in terms of stations in 5 different categories (MRN, PIER, STR, SD and DSD). Microplastic concentrations

with standard deviations for both season were determined, 1,252,649.8 ± 3,451,951.1 MP/km^2 in autumn, 3,661,516.0 ± 15,449,816.0 MP/km^2 in winter. There were no stations where MP could not be detected throughout the study, and the lowest MP concentrations were detected at the Bostancı Sea Bus Pier (PIER-5) in autumn at a value of 31,825.7 MP/km^2. The highest MP concentrations in sea surface water were detected in Halic-Kagıthane Stream, Eminonu-Karakoy piers, Uskudar pier and Besiktas pier in addition to Ambarlı stream poured into the sea.

Fragment type of MPs with a size of 1-5 mm in sea surface water were observed to be dominant especially at MRN, STR and PIER stations, while filament type of MPs were intensely detected at SD and DSD stations. While film type of MPs were detected as other common MPs, granule/pellet and foam type MPs were found to be quite low in percentage in sea surface water.

According to the FTIR analysis results, the percentages of microplastics isolated from the water surface are 43% polyethylene, 22% polypropylene, 12% high density polyethylene, 10% polystyrene, 4% natural latex rubber, 3% ethylene propylene, 2% SBR Black (rubber type), EPDM 03 PPTFE (ethylene propylene rubber and teflon coated) and ethylene vinyl acetate copolymer were detected.

Keywords: Microplastic, Marmara Sea, Bosphorus.

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Plastik maddelerin sosyal yaşamda ve endüstriyel üretim proseslerinde yoğun olarak kullanımına bağlı olarak günümüzde yeni bir kirletici kaynağı olmakta ve boyutları 5 mm'nin altındakiler ise mikroplastik adı verilen parçacıklar olarak ortaya çıkmıştır. Mikroplastikler, bilinçli bir amaçla üretilebileceği gibi (örneğin kozmetik endüstrisinde kullanılan bakım ve temizleyici ürünlerde bulunan mikroküreler, nanoküreler,ile tekstil endüstrisinde kullanılan sentetik lifler, bazı medikal uygulamalarda ve ilaçlarda kullanılan mikroplastikler vb.), büyük plastik maddelerin UV ışınları, fiziksel ve biyolojik yollarla bozunmaları gibi etmenlere bağlı olarak zamanla aşınması ve bozunması sonucunda da oluşabilmektedir. Mikroplastiklerin toprak ve sucul ortamlara ulaşması genel olarak atıksu arıtma tesisi çıkış sularından kaynaklandığı belirtilmekte, katı atık depo alanlarında rüzgar etkisi ile havaya karıştığı ve atmosferik çökelme faaliyetleri sonucunda göl, deniz ve okyanus gibi su ekosistemlerine ulaştığı bilinmektedir. Bunlara ek olarak antropojenik kaynaklı mikroplastik atıklar akarsu ve nehir ortamlarına ulaşabilmekte ve nehir ağızlarında, limanlarda ve deniz kıyı şeritlerinde birikme eğilimi gösterebilmektedir [1], [2], [3]. Genel olarak plastik maddelerin yoğunluğu suyun yoğunluğundan düşük değerler sahip olmasıyla su ekosistemlerinin yüzey kısımlarında daha fazla miktarda mikroplastik atıklar bulunmakta bununla birlikte kıyı ve deniz dip sedimentlerinde ise 5 cm'lik katmanda veya sedimentlere batık olarak bulunabilmektedir [4].

Son 50 yıldır okyanus ve deniz ekosistemlerinde plastik birikintilerden kaynaklanan ve gözle tespit edilemeyen mikroplastiklerin birikimi söz konusu olmaktadır [5]. Deniz ekosistemlerinde yüksek yoğunluklu plastik döküntüler yoğun olarak bulunmakta ve ekosistem üzerinde çeşitli etkilere neden olmaktadır. Su yüzeyinde yüzebilen cam şişe ve tüpler, metal kutular, deniz

ortamına atılmış av malzemeleri ve diğer atıklar denizlerde bulunmasına rağmen, denizlerde ki kirliliğe neden olan ana kirleticilerin %60-80'inin petrol bazlı plastiklerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir [6]. Yapılan araştırmalar sonucunda denizlerdeki plastiklerin %80'inin kıyı şeritlerinin de dahil olmasıyla antropojenik kaynaklı atıklardan oluştuğu bildirilmiştir [5], [7].

Dünyamız genelinde mikroplastik birikintilerin deniz ve okyanus ekosistemlerinde bulunmasına yönelik çalışmalar 1970'li yıllarda başlamış olup, son 20 yıl içerisinde araştırmalar hız kazanmıştır. Gago ve diğerlerinin (2018) yayınlamış oldukları derleme çalışmada 2017 yılına kadar deniz ortamında mikroplastiklerle ilgili yapılmış toplam 100 adet çalışmanın olduğu belirtilmiştir [8]. 2021 yılında ise denizlerdeki mikroplastiklerin araştırıldığı 1503 makale yayınlanmıştır [9]. Mikroplastik partikülleri ülkemizde son 7-8 yıldır bir kirletici kaynağı olarak ele alınmakta olup 2017 ve 2018 yıllarında mikroplastiklerin sucul ortamlardaki tespiti, dağılımı ve özelliklerinin belirlenmesine yönelik 5 adet çalışma bazı araştırmacılar tarafından yapılmıştır [10], [11], [12], [13], [14] ve mikroplastik araştırmaları ülkemizde de son yıllarda ivme kazanmıştır ve bu sayı 50'yi geçmiştir.

Mikroplastikler ilk olarak 1970'li yıllarda plankton numunelerinde mikroplastiklerin bulunması ile gündeme gelmiş olup [15], [16], günümüzde ise dünya okyanuslarındaki mikroplastik sorunu çeşitli araştırmalara konu olmaktadır [17], [18], [19], [20]. Mikroplastikler heterojen ve küçük partikül topluluğu olarak ve değişik boyutlara, şekillere ve yoğunluğa sahip oldukları gibi fazla miktarda sentetik polimerleri de içerebilmektedir. Bu nedenle güvenilir numune toplama, numune hazırlama ve plastik tespiti yapılması, kantitatif değerlendirme yapılmasında karşılaşılan ana zorluklardan biridir. Neredeyse tüm araştırmacılar standart prosedür geliştirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Çoğu araştırmacılar, numunelerdeki mikroplastiklerin tespiti için su numunelerinde, dip sedimentlerinde, kıyı kesimlerinde numune toplama ve hazırlama için test teknikleri geliştirmeye çalışmaktadırlar. Deniz ortamında mikroplastik analizi için güncel laboratuvar prosedürü Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosferik İdare Birimi (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) tarafından geliştirilmiştir [21]. Ancak son yıllarda

mikroplastiklerin izolasyonu ve analizleri üzerine pek çok prosedür yayınlanmıştır [22], [23].

1970'li yıllardan sonra literatürde yapılan çalışmaların bir kısmında mikroplastiklerin mekansal dağılımı (miktarı, ağırlığı, tipi ve/veya boyutu) araştırılmıştır [24], [25], [26]. Daha sonra yapılan çalışmalarda ise mikroplastiklerin bulunduğu diğer lokasyonlar araştırılmış, farklı numuneleme ve ayırma teknikleri karşılaştırılmış ve makroplastiklere veya zooplanktonlara göre mikroplastiklerin oranı tespit edilmeye çalışılmıştır [27], [28], [29], [30], [31], [32]. Son zamanlarda ise mikroplastiklerin dağılımındaki zamansal değişiklikler, yayılımları ve degredasyon oranları araştırılmaktadır. Ayrıca plastik peletler, kalıcı organik kirleticilerin pasif olarak tespit edilmesinde araç olarak artarak kullanılmaya başlanmıştır [33].

Mikroplastik partikülleri farkı boyutlarda ve düşük yoğunluklarda olabilmektedir. Bunun sonucu olarak su ortamında pek çok canlı organizma tarafından besin maddesi gibi algılanmakta ve bu canlılar tarafından kullanılmaktadır [34], [35]. Bu organizmaların enzimatik sistemleri plastikleri sindiremedikleri için organlarına zarar vermekte hatta ölümcül sonuçlara sebep olmaktadır [36], [37], [38], [39]. Ancak mikroplastiklerin endişe edici özellikleri yüzeylerinde yağ, solvent gibi tehlikeli atık kimyasalları adsorbe edebilmeleri ve bu durum ikincil ve konsantre bir kirletici kaynağını oluşturmaktadır [39]. Mikroplastikler, kalıcı organik kirleticiler ve metaller gibi kalıcı biyobirikme ve toksik özelliği olan kimyasalları da adsorplayabilmektedir [33]. Mikroplastikler canlılar tarafından besin yoluyla alınımında, besin zincirine dahil olmakta ve insanlar veya hayvanlar tarafından tüketilerek taşınımlarına devam edebilmektedirler. [40], [41]. Yapılan farklı çalışmalar, deniz ve gölden alınan sofra tuzlarında da ve pek çok gıda ürünlerinde mikroplastik partiküllerinin bulunduğunu göstermektedir. [13], [42], [43], [44]. Bu nedenle tüm dünya genelinde plastik maddelerin aşırı kullanımını azaltmaya yönelik ilk çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 2008 yılında Afrika'nın Rwanda ülkesinde plastik poşetlerin kullanımının yasaklanması, Almanya'da ise 1990'lı yıllardan beri plastik maddelerin %90'ının toplanması ve geri dönüştürülmesi örnek olarak verilebilmektedir. Avrupa birliği ülkelerinde ise tek kullanımlık plastik

materyallerin kullanımı yasaklanmaya başlanmış ve plastiklerin geri dönüşüm oranlarının arttırılması hedeflenmiştir [45]. Avrupa Birliği, çevre kirliliğiyle mücadelesi bünyesinde tek kullanımlık plastik ürünlerin kullanımına 2021 yılı Temmuz ayından itibaren kısıtlama getirilmiş olup, plastik çatal kaşık, torba ve pipetlerin de bulunduğu 10 tek kullanımlık ürünlerin kullanımı yasaklanmıştır. 2019 yılı Ocak ayı itibariyle ise ülkemizde plastik poşetlerin kullanımını ve çevreye verdiği zararları azaltmak amacıyla T.C. Çevre Şehircilik ve Bakanlığı tarafından plastik poşetlerin ücretlendirilmesi sistemine geçilmiştir. (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı). 2021 yılında ise Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2004 yılında yayınlanmış olan ve dönemsel olarak revizyona uğrayan Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği tekrar revize edilerek döngüsel ekonomi ve kaynak verimliliği ilkeleri esas alınarak ambalaj ve ambalaj atıklarının depozito yönetim sistemi ve sıfır atık yönetim sistemi dâhil belirli bir yönetim sistemi içinde yönetimi ve depozito yönetimi ve sisteminin uygulaması faaliyetleri aktifleştirilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Marmara Denizi, pek çok açıdan çevresel risk altında olan ve bazı özel şartlara sahip bir iç denizdir. Marmara Denizi Havzası'ndaki kirlilik 22.841.211 insan nüfusu ile tüm Türkiye'deki kirliliğin yaklaşık %28,3'ünü oluşturmaktadır. Marmara Denizi endüstriyel, turizm, ticari ve rekreasyonel aktiviteleri içeren pek çok rekabet ortamına sahiptir. Marmara Denizi'nin doğu kısımlarında bulunan İstanbul ili, endüstriyel ve sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu, diğer yandan turizm açısından da oldukça ileri olan bir şehirdir. Geçmişten günümüze kadar pek çok antropojenik kaynaklı kirletici gerek İstanbul'dan Marmara Denizi'ne dökülen dereler vasıtasıyla gerekse de denizde direkt olarak kirliliğe sebep olmaktadır. Diğer kirleticilere ek olarak Marmara Denizi'nde mikroplastikler de acil olarak ele alınması gereken önemli bir kirletici türüdür. Bu tez çalışmasında deniz ortamına ulaşan mikroplastiklerin kaynaklarını belirlemeye yönelik olarak ve mevsimsel değişiklikleri de izlemek amacıyla 2 farklı zaman diliminde İstanbul ili kıyı kesimlerinden, denizi besleyen dere ağızlarından, ön arıtımı yapılmış atıksu deşarjı yapılan noktalardan, Haliç'ten ve Boğaz'dan alınacak

deniz yüzey suyunda mikroplastik izolasyon ve karakterizasyon çalışmaları gerçekleştirilecektir. Bu kapsamda önerilen tezin amaçları sıralanacak olursa;

1. Marmara Denizi İstanbul kıyılarından ve İstanbul Boğazı'ndan seçilen 5 farklı kategoride sınıflandırılmış toplam 46 istasyondan sonbahar ve kış mevsimlerinde mikroplastik numunelerinin alınması,
2. İki farklı mevsimde deniz yüzey suyundan alınan numunelerde mikroplastik izolasyon, bolluk ve tanımlama analizlerinin gerçekleştirilmesi,
3. İzole edilen mikroplastik türlerinden rastgele seçilen partiküllerde plastiklerin kimyasal türlerinin tespit edilmesi,
4. Deniz suyu fiziko-kimyasal özellikleri ile mikroplastik kirliliği arasındaki olası korelasyonların araştırılmasıdır.

Bu yüksek lisans tezinde seçilen lokasyonlardan alınacak numunelerde mikroplastiklerin miktarı, boyutları, renkleri, içerdiği plastik bileşenleri (polipropilen, polietilen, polistiren, polietilen tetraftalat ve polivinilden klorürdür) gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenecek olup, ayrıca mevsimsel ve zamansal değişimlerin mikroplastik miktar ve özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Böylece literatürde tek zaman diliminde ve genellikle yaz aylarında örneklenerek analizi gerçekleştirilen mikroplastiklerin zamansal değişimleri ve dolayısıyla sonbahar ve kış aylarında yağışların mikroplastik partiküllerine etkisi de tespit edilmeye çalışılmıştır.

1.3 Hipotez

Günümüzde önemli kirleticilerden biri olan mikroplastik kirliliğine denize dökülen derelerin, atıksu deniz deşarjı ve derin deniz deşarjı istasyonlarının, marinaların ve deniz yolcu taşımacılığı yapılan istasyonların zamansal ve mekansal olarak Marmara Denizi İstanbul kıyılarında ve İstanbul Boğazı'nda araştırılarak, uzamsal ve mevsimsel değişikliklerin mikroplastik kirliliğine etkilerinin bu tez çalışması kapsamında tespit edilmesi planlanmaktadır. Böylece insan faaliyetlerinin ve popülasyonun mekansal olarak mikroplastik kirliliğini ne yönde etkilediğine ek olarak yağışlı mevsimlerin karadan denize mikroplastik taşınmasındaki potansiyel etkisi tespit edilmeye çalışılacaktır.

2
PLASTİKLER VE MİKROPLASTİKLER

2.1 Plastikler

200.000 yıllık tarih boyunca dünya daha önce plastik gibi malzemeler görmemiştir. Bu olağanüstü, çok yönlü ve her yerde bulunan maddeler, dünyadaki yaşantıyı temelden değiştirmiştir. Ne yazık ki, büyük sıçramalar ve teknolojik ilerlemeler yapılmasını sağlayan bu maddeler, günümüzde önemli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu nedenle plastikler, yalnızca insanlığın gelişimsel tarihinde değil, Dünya'nın gelişimsel tarihinde de eşi görülmemiş bir dönüm noktasını temsil etmektedir. Plastiklerin çevredeki kalıcılığıyla başa çıkmak için yeni teknolojiler, süreçler veya yaklaşımlar geliştirilemezse, bu bir şekilde sonsuz olan bu maddelerin artan birikimlerini gözlemlemeye devam edileceği anlamına gelmektedir [46].

2.1.1 Plastik Nedir?

"Plastik" terimi ilk olarak 1630'lu yıllarda ortaya çıkmıştır ve kalıplanabilen veya şekillendirilebilen madde anlamına gelmektedir. Bu terim Antik Yunancadan türemiştir (kalıplamaya uygun bir şeye atıfta bulunan plastikos terimi ve Latince kalıplama veya şekillendirme ile ilgili plastik terimi). Plastik teriminin modern kullanımı ilk olarak 1909 yılında Leo Hendrick Baekeland tarafından yapılmıştır. Plastik poşetler ve kalemlerden borulara ve elektrikli ekipmanlara kadar farklı plastik türleri her yerdedir. Ancak hepsinin ortak bir yanı vardır; tüm plastik maddeler, makro moleküller olarak adlandırılan büyük zincir benzeri moleküllerden oluşur. Bu büyük moleküller, bir dizi halinde birbirine bağlı birçok tekrarlayan daha küçük moleküllerden oluşur. Bu tür moleküler düzenlemeye sahip bir maddeye "polimer" denilmektedir. Makro moleküllerin varlığı ve polimer olarak nitelendirilmeleri ilk olarak 1920'lerde Alman kimyager Hermann Staudinger tarafından ortaya çıkmıştır. Polimer kelimesi Antik Yunanca'nın bir birleşimidir ve poly (çok anlamına gelir) ve meres (parça

anlamına gelir) kelimelerinden türemiştir. Bir polimer zincirindeki her bir molekül tek bir birim olarak kabul edilir ve bunların her biri "monomer" olarak adlandırılır. Bu durumda “mono” tek anlamındadır ve monomerler, uzun zincirler oluşturmak için birbirine bağlanma yeteneğine sahip küçük moleküllerdir [46].

Bir polimer oluşturmak için monomerleri bir araya getirme işlemine "polimerizasyon" denir. Tüm plastikler polimerdir ve polimerler, birçok tekrar eden monomerin basitçe uzun zincirleridir. Tipik olarak, ticari plastiklerde, plastiğin türüne bağlı olarak zincir başına 10.000 ila 100.000.000 monomer bulunmaktadır. Çoğu zaman, her bir polimerin monomeri dizideki bir sonraki monomer ile aynıdır ve bu "homopolimer" olarak adlandırılır. Bununla birlikte, bazı polimerler farklı alternatif monomerlerden oluşur ve buna 'kopolimer' denir. Diğer durumlarda, polimerler çeşitli mimarilerde dallanmış zincirlerden oluşabilir. Ayrıca, her bir polimerin özelliklerini aynı anda gösteren ve böylece her ikisinin de faydalarını sağlayan bir plastik harman oluşturmak için iki polimer birlikte karıştırılabilir. Alternatif olarak, iki polimerin karıştırılması, her bir polimere kıyasla gelişmiş özelliklere sahip bir harman oluşturabilir [46].

Plastikler, silikon, hidrojen, oksijen ve klorür gibi inorganik ve organik malzemelerden üretilen [47], petrol türevli sentetik organik malzemeler olarak bilinmektedir [48]. Plastikler düşük maliyetleri, hafif ağırlıkları ve dayanıklı olmaları yönünden çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır [49]. Plastik malzemeler zamanla paketleme/ambalaj endüstrisinde cam, metal ve kağıt malzemeleri ile yer değiştirmiştir [5]. Kütlesel olarak plastik üretimi 1940’lı yıllarda başlamasına rağmen küresel üretimde hızla artmış ve 2015 yılında 322 milyon tona ulaşmıştır [50]. Günümüzde yüksek ve düşük yoğunluklara sahip polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS) ve polietilen tereftalat (PET) türleri kullanılmaktadır. Bu tür plastikler küresel plastik üretiminin %90’nını oluşturmaktadır [51].

2.1.2 Plastiğin Keşfi

Plastiğin dünyamıza tam olarak girdiği noktanın zaman içinde sabit bir noktası yoktur ve daha ziyade, genel 'plastik' teriminin, doğa tarafından sağlanan

hammaddeleri iyileştirme girişimlerimizin bir sonucu olarak yaratılan çok çeşitli farklı polimerlere atıfta bulunduğu düşünülmelidir. Plastik ilk olarak 1736 yılında Güney Amerika keşif gezisinde Fransız kaşif Charles Marie de La Condamine'in tesadüf eseri Pará kauçuk ağacına (*Hevea brasiliensis*) rastlamasıyla hayatımıza girmiştir. La Condamine bu doğal kauçuğun örneklerini Fransa'ya getirmiş ve daha sonra maddeyi inceleyerek 1751'de doğal kauçuğun faydalı özelliklerini açıklayan bilimsel bir makale sunmuştur. Alternatif olarak, belki de plastiğin büyük babaları, 1843'te Birleşik Krallık'ta doğal kauçuğun vulkanizasyonunun patentini alan İngiliz imalat mühendisi Thomas Hancock ve 8 hafta sonra 1844'te Amerika Birleşik Devletleri'nde doğal kauçuğun vulkanizasyonunun patentini alan Amerikalı kimyager Charles Goodyear'dır. O yıllarda vulkanizasyon sürecinin gerçek mucidinin kim olduğu konusunda tartışmalar başlamış ve gerçekten de Goodyear, Birleşik Krallık'ta vulkanizasyon sürecinin patentini almaya çalıştığında uzun ve acı bir mahkeme süreci başlamıştır. Sonunda, Goodyear'ı dehşete düşürecek şekilde, yargıç Hancock lehine karar vermiştir. Bununla birlikte, her iki bilim adamı da vulkanize kauçuğun gelişimine önemli katkılarda bulunan kauçuk öncüleri olarak kabul edilmiştir. Hancock örneğinde, süreç, uzun yıllar doğal kauçuk ve kükürt ile yapılan deneylerden sonra keşfedilmiştir. Goodyear örneğinde ise, süreç, doğal kauçuğun özelliklerini geliştirmek için harcanan uzun yılların sonucunda keşfedilmiştir. Öte yandan, Belçikalı kimyager Leo Hendrick Baekeland tarafından 1907'de Bakalit olarak bilinen ilk tam sentetik polimerik bileşiğin geliştirilmesinin, plastiğin doğuşunun habercisi olduğunu düşünülebilir. Elbette Bakalit, o zamanlar dünyayı bir dizi yeni ürünle değiştirmiştir. Gerçekten de 1930'ların sonunda Bakalit'ten 200.000 tondan fazla çeşitli ev eşyaları üretilmiştir [46] .

2.1.3 Plastik Üretimi ve Atık Oluşumu

2.1.3.1 Küresel Plastik Üretimi

Günümüzde plastikler, modern çağın en çok kullanılan ve çok yönlü malzemeleri olarak kabul edilmektedir ve bu malzemelere yönelik hızla artan talebi karşılamak için küresel üretim kaçınılmaz olarak olağanüstü artmıştır [52], [53].

1950'de yıllık küresel plastik üretimi, 1,5 milyon tonluk küçük bir ağırlığa ulaşmıştır [54]. Bununla birlikte, 1973 petrol krizi ve 2007 mali krizi sırasında üretimdeki düşüşe rağmen, 2009 yılına kadar küresel plastik malzeme üretimi önemli ölçüde artarak 250 milyon tona yükselmiştir. Tarihsel olarak, küresel plastik malzeme üretimi her yıl yaklaşık %9 artmıştır [55]. Gerçekten de, 2014 yılına kadar küresel üretim oranı yılda 311 milyon tona ulaşmıştır [56]. Bu, sadece 5 yılda yıllık küresel üretimde yaklaşık %25'lik bir artışı temsil etmiştir; 65 yıllık süre boyunca ise, yıllık küresel üretim, şaşırtıcı bir şekilde %20.000 oranında katlanarak artmıştır. Günümüzde ise bu değer 381 milyon ton değerini aşmıştır [57]. Mevcut uzun vadeli tahminler, plastik malzeme üretiminin herhangi bir dengelenme belirtisi göstermediğini ve katlanarak artmasının beklendiğini göstermektedir. Dünya nüfusunun 2100 yılına kadar 10,85 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu, mevcut rakamlara göre %50'den fazla bir artışı temsil etmektedir. Böylece, 2050 yılına kadar yaklaşık 33 milyar ton fazladan plastik üretileceği tahmin edilmekte ve yıllık küresel üretimin 850-1124 milyon ton arasında olacağı düşünülmektedir [46].

2014 yılına kadar en büyük üç küresel plastik üreticisi sırasıyla %26, %20 ve %19 ile Çin, Avrupa ve Kuzey Amerika'dır [56]. Avrupa'nın toplam plastik talebinin %63,9'unu beş ülke oluşturmuştur: Almanya (%24,9), İtalya (%14,3), Fransa (%9,6), Birleşik Krallık (%7,7) ve İspanya (%7,4). Dünya çapında en çok talep edilen plastikler polietilen ve polipropilendir ve ambalaj endüstrisi bu malzemelerin açık ara en büyük tüketicisidir. 2015 yılına kadar dünya çapında plastik malzeme tüketimi ise neredeyse 300 milyon ton değerindedir [58]. Günümüzde üretilen plastiğin %20'den az bir kısmı geri dönüştürülmektedir. Geri kalan yüksek oran ise küresel atık ve çevre kirliliğine büyük katkı sağlamaktadır.

2.1.3.2 Plastik Atıklar

Şimdiye kadar üretilen tüm plastiklerin yaklaşık %10'unun okyanusa salındığı tahmin edilmektedir [59]. Ayrıca, her yıl üretilen tüm plastiğin yaklaşık %33'ü yeniden kullanılamayacak şekilde tasarlanmıştır ve tipik olarak üretimden sonraki 12 aylık bir süre içinde atılmaktadır. Plastik atıklarla başa çıkmanın bir

yolu yakarak bertaraf etmektir. Bununla birlikte, plastik malzemelerin yakılması, insan sağlığına ciddi zararlar verebilen ve aynı zamanda çevreye oldukça zararlı olabilen furanlar ve dioksinler gibi toksik kimyasallar salmaktadır. Ayrıca, birçok ülkede plastik atıkların geri dönüştürülmesini gerektiren mevzuat uygulanmamaktadır. Sonuç olarak, bunun yerine katı atık depo sahasını seçmek genellikle daha ucuz ve daha kolaydır [46].

Dünya çapında üretilen tüm belediye atıklarının %16'sı plastikten oluşmaktadır [58]. Kaçınılmaz olarak, bu kara kökenli plastik atıkların çoğu, su ortamına karışmakta ve mevcut tahminler, atılan tüm plastiğin %15-40'ının okyanusa salındığı yönündedir. Bu durum tipik olarak, çöpe atılan veya çevreye bırakılan plastik malzemelerin rüzgarla taşındığında veya nehirlere ve kentsel su yollarına girip okyanusa taşındığında meydana gelir. Çok sayıda gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkeler, uygulamayla ilişkili düşük maliyet nedeniyle açık çöplükleri kullanmaktadır [58]. Okyanusa ulaşan plastik miktarını azaltmak için bir önleyici tedbir, sele duyarlı bölgelerde bulunan çöp sahalarını kapatmaktır [60].

Birleşmiş Milletler Deniz Kirliliğinin Bilimsel Yönleri Üzerine Ortak Uzmanlar Grubu (GESAMP) tarafından yapılan bir değerlendirmede, deniz ortamındaki atıkların %80'inin karadan kaynaklandığı ve geri kalan %20’lik kısmın denizlerdeki faaliyetler sonucu oluştuğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, yalnızca 2010 yılında 4,8–12,7 milyon ton plastik atığın okyanusa girdiği [61], 2015 yılında ise yaklaşık 8 milyon tonun serbest bırakıldığı tahmin edilmektedir. 2050 yılına kadar bu miktarın yılda 32 milyon tona çıkması beklenmektedir [62].

Plastik atıklar okyanusa büyük ölçüde depo sahalarından ve kasıtlı ya da kasıtsız dökülmeler yoluyla ulaşır. Limanlarda plastiklerin atılabileceği tatmin edici tesislerin sağlanması, doğrudan denizlere ve okyanuslara çöp atılmasını azaltmaya yardımcı olacaktır [60]. Bununla birlikte, deniz ortamındaki plastik kirliliğinin bir kaynağı, fırtınalar ve karaya oturma sırasında gemilerden nakliye konteynerlerinin kazara kaybolmasıdır.

2.1.4 Plastiklerin Boyutlarına Göre Sınıflandırılması

25 mm'ye eşit veya daha büyük plastikler makro plastik olarak adlandırılmaktadır. 25 mm'den küçük plastikler ise boyutlarına göre Tablo 2.1'de verildiği gibi sınıflandırılmaktadır.

Su ortamının yüzeyinde yüzen tüm yüzer döküntülerin %90'ının plastikten oluştuğu tahmin edilmekte ve neredeyse 269.000 ton ağırlığında 5 trilyondan fazla parça bulunmaktadır [46]. Ayrıca, su ortamında bulunan tüm atıkların %60-80'inin plastik olduğu tahmin edilmektedir [63], [64]. Bununla birlikte, GESAMP tarafından, bu değerin %95 oranında olabileceğini tahmin edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri sularında, orada bulunan tüm atılan plastik kalıntıların yaklaşık yarısında eğlence teknelerinin sorumlu olduğu düşünülmektedir.

Tablo 2.1 Plastiklerin boyutlarına göre sınıflandırılması

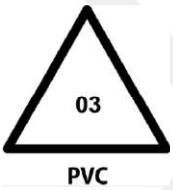
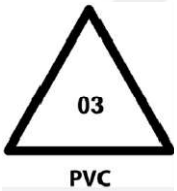
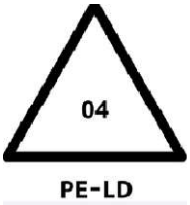
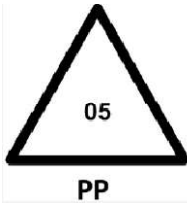
Kategori	Kısaltma	Boyut	Boyut tanımı
Makro plastik	MAP	>25 mm	En uzun boyutu boyunca 25 mm'ye eşit veya daha büyük herhangi bir plastik parçası
Mesoplastik	MEP	<25 mm-5 mm	En uzun boyutu boyunca 25 mm ila 5 mm'den küçük herhangi bir plastik parçası
Plasticle	PLT	<5 mm	En uzun boyutları boyunca 5 mm'den küçük tüm plastik parçaları
Mikroplastik	MP	<5 mm-1 μm	En uzun boyutu boyunca 5 mm ila 1 μm'den küçük herhangi bir plastik parçası
Nanoplastik	NP	<1 μm	En uzun boyutu boyunca 1μm'den küçük herhangi bir plastik parçası

Bununla birlikte, çoğu plastik döküntüler, okyanusun 'gyres' olarak adlandırılan geniş alanlarında toplanma eğilimindedir [65], [66]. Bu girdaplar, önemli miktarda plastik atık toplayan güçlü okyanus akıntıları tarafından oluşan ve sürülen devasa girdaplardır [29]. Dünya okyanuslarında beş ana girdap olduğu kabul edilmektedir: Kuzey Atlantik Döngüsü, Güney Atlantik Döngüsü, Kuzey Pasifik Döngüsü, Güney Pasifik Döngüsü ve Hint Okyanusu Döngüsü [67]. Bu girdaplardaki plastik miktarı çok fazladır. Örneğin, Kuzey Pasifik Döngüsü'nde, uzun yıllar boyunca geniş dönen bu girdap içinde istikrarlı bir şekilde biriken ve derin bir çevresel zorluğu temsil eden Kuzey Pasifik Çöp Yaması olarak adlandırılan deniz plastik çöpünün devasa bir tezahürü vardır. Kuzey Pasifik Girdabı'nda km^2'de yaklaşık 330.000 parça plastik varken, Güney Pasifik Girdabı ve Kuzey Atlantik Döngüsü'nde sırasıyla km^2'ye yaklaşık 25.000 parça ve km^2'ye 20.000 parça plastik düşmektedir [29], [67], [68]. Güney Pasifik Döngüsü'nde, Polinezya bölgelerinde yüksek düzeyde yüzen plastik birikimleri gözlemlenmiştir [69]. Benzer şekilde, Paskalya Adası ile Şili'nin kıtasal kıyı şeridi arasında yer alan Güney Pasifik Okyanusu'nun bir bölgesinde, plastiğin kıyı şeridinin aksine özellikle okyanus adalarında ve Pasifik okyanus girdabı güneyinin merkezinde bol olduğu ve %62,3'ünün 2 cm'den büyük parçalar olduğu tespit edilmiştir.

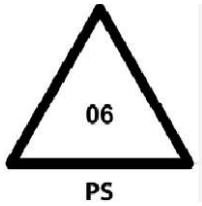
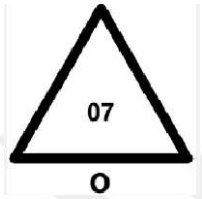
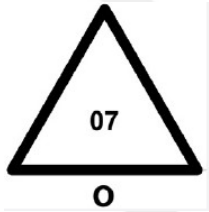
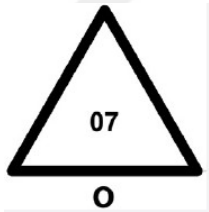
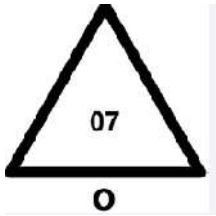
2.1.5 Plastiklerin Uygulama Alanları

Çok yönlü yapıları nedeniyle plastikler birçok endüstride ve uygulamada kullanılmaktadır. Ancak plastiğin en yaygın olarak kullanıldığı ana sektörler ambalaj, elektrikli eşya ve elektronik, yapı ve inşaat, kara, hava ve deniz taşımacılığı, tarım, tıp ve sağlık uygulamaları ile spor ve eğlence sektörleridir. Tablo 2.2'de en yaygın kullanılan plastik türleri ve kullanıldığı yerler listelenmiştir.

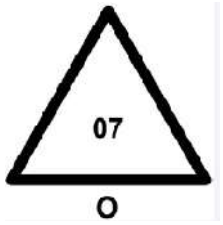
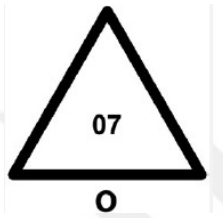
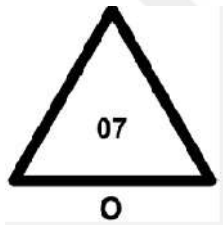
Tablo 2.2 Yaygın kullanılan plastik türleri ve kullanım alanları [46]

Plastik Gösterge Kodu	Plastik türü	Kısaltma	Tipik uygulamaları
	Polietilen tereftalatlar	PET	İçecek şişeleri, gıda kapları, film ve kaplama, çemberleme, lifler, yün, dolgu malzemesi
	Yüksek yoğunluklu polietilen	HDPE	Kimyasal kaplar, içecek şişeleri, gıda kapları, kasalar, kovalar, boru, borular
	Polivinil klorür (sert)	PVC	Konteynerler, elektrik kanalı, borular, oluklar, kaplama, pencere çerçeveleri
	Polivinil klorür (plastikleştirilmiş)	PVC	Kablo yalıtımı, bahçe hortumu, ayakkabı, kaplama, döşeme, paspaslar
	Düşük yoğunluklu Polietilen	LDPE	Çantalar, sıkılabilir şişeler, yemek paketleme, karton astarlar, küçültmek, palet levhaları, malç filmi, çöp kutuları, bahçe mobilyası
	Polipropilen	PP	Şişe kapakları ve konteyner kapakları, koli bandı, borular, ip, otomotiv uygulamaları, bahçe mobilyası

Tablo 2.2 Yaygın kullanılan plastik türleri ve kullanım alanları (devamı) [46]

Plastik Gösterge Kodu	Plastik türü	Kısaltma	Tipik uygulamaları
	Polistiren köpükler (genişletilmiş veya ekstrüde edilmiş)	EPS, XPS	Tek kullanımlık gıda konteynerleri ve bardaklar, ambalaj köpüğü, köpük kutular, ısı yalıtımı
	Polikarbonat	PC	Bilgi depolama diskleri, trafik ışığı lensleri, isyan kalkanları, güvenlik pencereleri, göz koruması
	Poli(metil) metakrilat	PMA	Cam, uçak kanopileri ve pencereler, florasan lamba difüzörleri, araç aydınlatması, kapaklar ve lensler, kontak lens
	Poli(metil) metakrilat	PMA	Cam, uçak kanopileri ve pencereler, florasan lamba difüzörleri, araç aydınlatması, kapaklar ve lensler, kontak lens
	Politetrafloroetilen	PTFE	Tencerelerde yapışmaz kaplamalar ve fırın gereçleri, nefes alabilen kumaşlar, sıhhi tesisat bandı, su kaydırağı, düşük sürtünmeli kaplamalar, otomotiv uygulamaları

Tablo 2.2 Yaygın kullanılan plastik türleri ve kullanım alanları (devamı) [46]

Plastik Gösterge Kodu	Plastik türü	Kısaltma	Tipik uygulamaları
	Akrilonitril bütadien stiren	ABS	Elektrik ve elektronik teçhizat, otomotiv uygulamaları, borular
	Poliamid (naylon)	PA	Lifler, monofilament fırçalar, rulmanlar, otomotiv, uygulamalar
	Polikloropren (neopren)	CR	Eldivenler, ayakkabı, dalış giysileri, tıbbi bandajlar ve destekler, otomotiv contaları, elektrik yalıtımı, hava balonları

2.1.6 Plastiklerin Bozunması

Plastik atıklar su ortamına girdiğinde, çeşitli faktörlerin malzeme üzerinde yıkıcı etkileri olmaya başlar. Bu yıkıcı etkilerin herhangi bir etkiye sahip olma derecesi ve meydana geldikleri süre, tamamen malzemenin kendisinin fizyokimyasal özelliklerine bağlıdır. Bazı plastik ham maddelerin yapısı diğerlerine göre daha dayanıklı oldukları bilinmekte ve böylece su ekosistemlerinde kalıcı olmalarını daha güçlü kılmaktadır. Dolayısıyla bu plastik malzemelerin ayrışması uzun yıllar sürmektedir. Diğer plastik maddeler, kolay parçalanabilen veya yumuşak yapıya sahip olanlar, ise biyolojik olarak parçalanabilmeye uygun olarak oluşturulmuştur. Tüm plastik malzemeler büyük molekül zincirlerinden oluştuğu için, plastiklerin bozunması, bu büyük zincirlerin daha düşük moleküler ağırlıklı ve sadece birkaç monomerden (oligomerler) oluşan kısa zincirlerin kırılmasıyla olarak tanımlanmıştır. Bu bozunmalar abiyotik ve biyotik olarak iki farklı durumda gözlemlenebilmektedir [46].

2.1.6.1 Biyotik Bozunma ve Biyobozunabilir Plastikler

Plastiklerin biyotik bozunması, plastik malzemelerin biyolojik organizmalar tarafından bozulmasını ifade eder. Örnek verilecek olursa, biyolojik yollarla parçalanabilen plastiklerin bozunması, plastiğin ham madde bileşenlerinden biri olan karbonun bir enerji kaynağı olarak kullanıldığı biyolojik süreçlere dayanmaktadır. Fakat plastiğin parçalanabilmesi için iki farklı süreçlerden geçmesi gerekmektedir ve bu süreçler aşağıda belirtilmiştir.

Aşama 1-Bozunma

Nem, oksijen, ısı, ultraviyole ışık vb. gibi abiyotik etmenler veya mikrobiyal enzimler vb. gibi biyotik süreçler, plastiğin ham maddelerinde bulunan uzun polimer zincirlerindeki karbon-karbon bağlarının kırılmasına ve böylece plastiğin parçalanarak bozunmasına neden olmaktadır. Bu çeşitli faktörlerin herhangi bir etkiye sahip olma derecesi, polimerin moleküler yapısına bağlıdır. Daha da önemlisi, bir polimerin bozunmuş olması, onun biyolojik olarak bozunduğu anlamına gelmemektedir.

Aşama 2-Biyobozunma

Polimer zincirleri yeterince parçalandığında, daha kısa karbon polimer zincirleri, mikrobiyal hücre duvarlarından geçebilmekte ve zincir yapısında bulunan karbon elementi biyolojik gazlara ve suya dönüşmeden önce mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Tüm bu prosesler ortam koşulların havalı veya havasız olmasına bağlı olarak değişmektedir. Bununla birlikte, biyolojik bozunmanın gerçekten meydana geldiğini gösteren, bu proses karbonun mikroorganizmalar tarafından dönüştürülmesidir.

Daha da önemlisi, malzemenin uygun bir biyolojik olarak parçalanabilen plastik olarak kabul edilebilmesi için, bu iki aşamalı bozunma sürecinin kabul edilebilir bir oranda gerçekleşmesi ve biyolojik bozunmanın gerçekleştiği çevre ortamı üzerinde olumsuz bir etkisi olmaması gerekir. Böylece, biyolojik olarak parçalanabilen bir plastiğin yapısal değeri, canlı yaşamları üzerindeki etkisine, toprak yapısının kararlılığına, sera gazı emisyonlarına veya yeraltı sularının kirlenmesi gibi birçok çevre üzerindeki etkiler ile ilişkilendirilmiştir. Günümüzde

biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerle önemli ilerlemeler kaydedilmiştir [46].

2.1.6.2 Abiyotik Bozunma

Plastiklerin abiyotik bozunması, mekanik, sıcaklık, ışık, gaz ve su gibi canlı olmayan çevresel etmenlerden oluşmaktadır. Plastik malzemelerin geliştirilmesinin ilk yıllarında, plastiklerin bozunması büyük bir sorun olarak görülmüştür. Bunun nedeni yüksek dirence ve dayanıklılığa sahip olarak bilinen plastik malzemelerin, bu özelliklerini kaybetmesinden ve kullanımlarının tercih edildiği ortamlarda elverişsiz olmasından kaynaklanmaktadır. Böylece bozulmaya karşı yüksek direnç gösteren dayanıklı polimerler üretmek oldukça önem kazanmaktadır. Ne yazık ki, modern zamanlarda bu belirgin dayanıklılık, plastiklerin deniz ortamında kalıcılığı ve her yerde bulunmasında artık kilit faktördür [70].

Genellikle plastik polimerlerinin özelliklerini, kararlılıklarını, çevresel ve biyolojik etkilere karşı dayanıklı hale getirebilmek için üretim işlemleri esnasında çeşitli kimyasallar ilave edilmektedir. Bu katkı maddelerine plastikleştiriciler, güçlendiriciler, renklendiriciler, alev geciktiriciler, anti-statikler, yüzey modifiye ediciler, yağlayıcılar ve kayma katkı maddeleri örnek olarak verilebilir [46].

Isıl- bozunma

Isıl bozunma, sıcaklık değişimleri ile plastik malzemelerin parçalanması anlamına gelmekte ve bu sıcaklık değişimleri plastik malzemenin termal bozunma özellikleriyle ilişkilendirilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda, bozunma termo oksidatif reaksiyon yoluyla gerçekleşir. Bununla birlikte, bir plastiğin termal oksidatif bozunmaya uğraması için, kimyasal bağları kırmak için ısı şeklinde yeterli bir enerji girişi olması gerekir. Plastik malzemelere yeteri kadar sıcaklık uygulandığında, bu süreç kendiliğinden oluşan indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonlarını başlatmaktadır. Bu reaksiyonun başlama, yayılma ve sonlanma olmak üzere üç farklı aşaması vardır [46].

Foto-oksidatif bozunma

Foto-oksidatif bozunma, plastiklerin ışıkla ve oksijen ile reaksiyona girerek parçalanması olarak bilinmektedir. Kara veya okyanus ekosistemlerinde görülen mikroplastik çöpler, doğrudan güneş ışığına maruz kalarak yüksek oranda ultraviyole ışığına (UV) maruz kalmakta ve etkileri zamanla ortaya çıkabilmektedir. Çoğu plastik malzemeler, kromofor adı verilen foto-reaktif gruplar içerdiğinden UV ışığına duyarlı hale gelmekte böylece kimyasal bağların kırılmasıyla yüksek enerjili UV radyasyonunu kolayca içine almaktadır. Fakat bazı istisna durumlar olabilmektedir. Örnek vermek gerekirse, PVC malzemeler UV ışığına karşı direnç gösteremezler, bunun nedeni ise UV kromoforuna sahip olmamalarıdır. Ancak PVC, belirli dereceye kadar ışık-duyarlılığı gösterebilmektedir. Bunun nedeninin, C=O ve O—O gruplarının varlığı gibi polimer matrisindeki anormalliklerin bir sonucu olarak meydana geldiği öngörülmektedir [71]. Plastik malzemenin foto-oksidatif bozunmasının, elektromanyetik spektrumun özellikle UVB bölgesinde (315-280 nm) gerçekleştiği bilinmektedir. Tablo 2.3'de yaygın kullanılan plastik türlerinin UV ışığına dirençleri verilmiştir [46].

Atmosferik oksidasyon ve hidrolitik bozunma

Atmosferde bulunan oksijenin, bazı plastik malzemelerin parçalanmasına destek verdiği bilinmektedir. Örnek verilirse PVC malzemesi hidrojen klorürün çıkarılması prosesi ile bozunmaktadır. Bununla birlikte, bu ayrışma süreci, çevreye maruz kalan yüzeyden yalnızca maksimum 1 mm derinliğe kadar meydana gelme eğilimindedir. Bunun nedeni, atmosferdeki oksijenin, bu derinliğin ötesinde başka reaksiyon bölgelerine nüfuz edememesidir [71]. Bu nedenle PVC, atmosferik oksidasyona karşı dayanıksız olması ile bilinmektedir. Tüm bunlara ek olarak, ortam özellikleri dalgalar ve kayaların etkileşimleri gibi dinamikler ise, PVC'nin yüzeyini çukurlaştırabilir ve aşındırabilir, böylece oksidasyon için uygun yeni reaksiyon alanları ortaya çıkabilir.

Tablo 2.3 Yaygın plastiklerin ultraviyole ışığa direnci

Plastik	Kısaltma	UV ışığına direnç
Akrilonitril bütadien stiren	ABS	Zayıf
Polistiren	PS	Zayıf
Polyamide (naylon 6,6)	PA	Zayıf
Polyamide (naylon 6)	PA	Orta
Poletilen tereftalat	PET	Orta
Polietilen	PE	Orta
Polipropilen	PP	Orta
Polikarbonat	PC	Orta
Polivinil klorür	PVC	İyi
Poli (metil metakrilat)	PMA	İyi
Politetrafloroetilen	PTFE	İyi
Polikloropren (neopren)	CR	İyi

Plastiklere saldırabilen tek gaz oksijen değildir. Kentsel ortamlarda, yüksek düzeyde endüstriyel ve evsel faaliyetler, kırsal ve uzak bölgelere kıyasla atmosferde daha yüksek düzeyde kirleticilere neden olur. Ozon ve oksitler olarak bilinen bu kirleticiler, birçok plastik malzemelerin üzerinde bozunmalara neden olmaktadır. Örneğin, polietilen ve polipropilen, atmosferik oksijen ve kirletici

gaz olarak bilinen kükürt dioksit ortamında güneş ışığına maruz kaldığında, polimer zincirlerinin değişmesine neden olmaktadır. Başka bir örnek verilirse Naylon 6,6, kirletici gaz olarak bilinen nitrojen dioksite karşı savunmasızdır. Bununla birlikte, en önemli hasar, atmosferde bazı plastiklerin ve elastomerlerin çift bağlarına saldırabilen (ozonoliz) bozunmayla sonuçlanan yüksek oranda reaktif ozon varlığından kaynaklanır. Reaksiyon, bir ozon molekülü, kararsız bir reaktif çok atomlu anyon (ozonid) üretmek için çift bağ ile reaksiyona girdiğinde meydana gelir. Ozonidin hızlı ayrışması, çift bağların bölünmesine ve dolayısıyla polimer zincirinin kırılmasına neden olur. Uzun polimer zincirleri plastik malzemelere yüksek molekül ağırlığı ve dayanıklılık kazandırmaktadır. Bu nedenle zincir uzunluğu ile plastik malzemenin mukavemeti arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur. Ozon ayrışması prosesleri uygulandığında plastik malzemenin molekül ağırlığı azalmakta ve dolayısıyla mukavemeti düşmekte ve böylece kırılgan hale gelmektedir. Örneğin elastomer malzemelerde, ozona maruz kalan yüzeylerde çatlamalar meydana geldiği görülmektedir. Ek olarak, polikloropren (Neopren) gibi bazı elastomerler, polimer zincirindeki çift bağlar nedeniyle ozona karşı daha direçlidirler. Bunun nedeni polimer yapısında bulunan çift bağlardaki elektron yoğunluğundan ve çift bağların ozon ile reaksiyona girme eğilimini azaltan klor atomlarından kaynaklanmaktadır. Bazı plastik malzemeler suya batırıldığında, suyun difüzyonu plastiğin amorf kısımlarına doğru olmaktadır. Politetrafloroetilen gibi bazı plastiklerde sadece ihmal edilebilir bir soğurma vardır, diğerlerinde ise, örneğin naylonlarda olduğu gibi emilim oranı oldukça fazladır. Suyun polimer zincirlerine doğru olan yayılımı, kimyasal bağların bölünmesi ile birlikte (hidroliz) polimer yapısına su moleküllerinin geçmesiyle sonuçlanabilmektedir. Örnek verilirse, polyester polietilen tereftalat (PET), karboksil uç grupları tarafından üretilen oksonyum iyonları veya hidrojen iyonları tarafından hızlandırılan reaksiyonda, birincil bağların kırıldığı cam geçiş sıcaklığının (73-78°C) üzerindeki sıcaklıklarda hidrolize olmakta ve polimer yapısında daha sonra düzelmeyen zarara neden olmaktadır. Nemin etkilerine maruz kalan diğer plastikler ise poliüretanlardır [46].

Mekanik bozunma

Su ortamına girdikten sonra, büyük makro plastik döküntü parçaları farklı mekanik stres çeşitlerine maruz kalabilmektedir [72], [73]. Plastik atık üzerindeki mekanik stresler Tablo 2.4'de verilmiştir. Bu stres çeşitleri su ekosistemlerindeki akıntılardan ve dalgalardan veya ilgili ekosistemde bulunan kaya ve kumlardan kaynaklanan aşınmalardan kaynaklanabilmektedir [74], [75]. Bu stres çeşitleri makro boyuttaki plastik parçacıkların zamanla daha küçük parçalara bölünmesine neden olmaktadır. [49], [72]. Bu kuvvetlerin etki derecesi, plastiğin mekanik özellikleri ile ilişkilidir.

Tablo 2.4 Plastik atık üzerindeki mekanik stres biçimleri

Stres	Tanım
Aşınma	5 mm'den daha küçük plastik parçaların (plastikler) oluşmasıyla sonuçlanan bir aşınma eylemi
Sıkıştırıcı	Plastiği kısaltmak veya sıkıştırmak için hareket eden içe doğru yönlendirilmiş bir kuvvet
Eğilme	Plastiğin bitişik taraflarında sıkıştırma ve gerilim oluşturan esneme
Etki	Plastiğe kısa bir süre içinde uygulanan ve parçalanmaya neden olabilecek yüksek bir kuvvet veya şok
Gerilme	Plastiğin uzunlamasına dik olan plastiğe etkiyen bir kuvvet
Çekme	Plastiği uzatmak veya genişletmek için hareket eden bir kuvvet
Burulma	Plastiğin bir ucu bükülürken diğer ucu hareketsiz tutulduğunda veya ters yönde büküldüğünde meydana gelen bir tür stres veya deformasyon

2.2 Mikroplastik Nedir?

Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi makro plastik olarak adlandırılan büyük plastik çöp parçaları, çevrede giderek daha küçük plastik parçalarına dönüşmektedir. Ne yazık ki, plastik üretimi son 50 yılda katlanarak artmakta bu durum küçük plastik parçalarının su ortamında daha fazla bulunabilmesi haline dönüşmüştür. Bu kirlilikler, deniz ekosisteminde yaygın ve endişe veren tehditlerden biri olarak dünyada tanınmaya başlamıştır. Sadece dünyadaki hemen hemen her kumsalda keşfedilmekle kalmamış, her açık okyanusun yüzeyinde tespit edilmektedirler [5], [76], [77], [78]. Ayrıca, tatlı su göllerinin yüzey sularında, kıyı şeritlerinde ve sedimentlerinde, deniz sedimentlerinde ve hatta kutup buzullarında bile bulunmaktadırlar. Aslında, mikroplastikler su ortamında hemen hemen her yerde olabilirler ve dahası, bu kirleticilerin bolluğu son derece yüksek değerlere ulaşabilmektedir.

Mikroplastik (MP) terimi genellikle boyutu 5 mm ila 1 μm arasında olan herhangi bir plastik parçasını ifade etmekte, mikroplastiğin boyutu 1 mm'den daha küçük olduğunda ise mini mikroplastik (MMP) terimi kullanılabilmektedir. 1 μm' den küçük plastik parçası ise, nanoplastik (NP) olarak adlandırılmaktadır. Nanoplastiklerin boyutlarının çok küçük olması nedeniyle kirliliği incelemek ve geri kazanımını sağlamanın zor olduğu bilinmektedir. Bu nedenle su ekosistemlerinde çalışma yapan çoğu araştırmacılar nano boyuttaki plastik kirliliklerini görmezden gelme ve çalışmalarında mikroplastik ve mini mikroplastik kirliliğine odaklanmıştır [46].

2.2.1 Mikroplastik Oluşumu ve Tarihçesi

'Mikroplastik' terimi ilk olarak 1968'de ABD Hava Kuvvetleri Malzeme Laboratuvarı tarafından yayınlanan bir yayında ortaya çıkmıştır. O zamanlar bu terim, harici olarak uygulanan bir yüke tepki olarak, inç başına mikro inç mertebesinde bir plastik malzemenin deformasyonunu tanımlamak için kullanılmıştır. Yine aynı yayında, makro plastik terimi de ilk kez ortaya çıkmış ve plastik malzemenin daha yüksek gerinimlere maruz kalmasından kaynaklanan deformasyonunu tanımlamak için kullanılmıştır. Bu terimlerin o zamanda kullanılan anlamları bugün artık geçerli değildir. Bu değişimin arkasındaki itici

güç, 1970'lerde su ortamında küçük plastik parçalarının keşfinden kaynaklanmıştır [46].

1972 yılında Carpenter ve Smith tarafından, Sargasso Denizi'nin yüzeyinde bol miktarlarda küçük plastik parçacıkların yüzdüğü bildirilmiş, dünya su ekosistemindeki mikro boyutlu plastik parçacıklarından ilk kez bildirilmiştir.[15], [16]. Bu bilgilere ek olarak Sargasso Denizi, Kuzey Atlantik Okyanusu Döngüsü'nün ortasında yer almakta ve yeryüzünde kıyı şeridine sahip olmayan tek deniz olarak bilinmektedir. O tarihlerde, bu mikro boyutlu plastik parçalarına temel olarak "plastik parçacıklar" olarak tanımlanmıştır. 2004 yılında yayınlanan bir yayında ise mikroplastik terimi bilim dünyasına tanıtılmıştır [79]. Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) tarafından da Deniz Atıkları Programı kapsamında boyutu 5 mm'den küçük parçacıklar olarak tanımlanmıştır.

Su ekosistemlerinde ki en önemli bir mikroplastik kaynağı, daha büyük plastik parçalarının parçalanmasının kaynaklanmakta olmasına rağmen, mikroplastikler aynı zamanda bilinçli olarak üretilmektedir. Bu üretimlerden biri giysilerimizde bulunan sentetik elyaflarla görülmekte ve karşılaşılmaktadır. Bu nedenle, mikroplastiklerin büyük plastiklerin parçalanmasıyla ve endüstriyel kaynakları arasında ayrım yapmak için birincil ve ikincil mikroplastikler olmak üzere iki ana kategori vardır.

2.2.2 Birincil ve İkincil Mikroplastikler

2.2.2.1 Birincil Mikroplastikler

Cole ve diğerlerine göre [80] birincil mikroplastikler, mikroskobik boyutta üretilen plastikler olarak tanımlanmaktadır. Çevremizdeki birincil mikroplastiklerin evsel ve endüstriyel üretimlerden kaynaklandığı [81] ve esas olarak havalı temizleme ortamlarında [82], yüz temizleme ve kozmetik ürünlerinde [83] ve ilaç sektöründe [84] kullanıldığı bilinmektedir. Pas ve boya maddelerini çıkarmak için kullanılan akrilik, melamin veya polyester mikroplastik yıkayıcılar 0.25–1.7 mm arasında boyuta sahip mikroplastikler içermektedir [74]. Modern atıksu arıtma tesislerinde mikroplastikler %99'a kadar giderilmesine rağmen, miktarlarının fazla olması nedeniyle atıksulardan

verilen mikroplastikler oldukça önem arz etmektedir [85]. Böylelikle mikroplastiklerin kolay bir şekilde deniz ortamına girebildiği ve temiz su kaynaklarında birikebileceği belirtilmiştir [74]. En çok bilinen mikroplastik türleri el ve yüz temizleme peeling malzemelerinde, diş macunu ve fırçalarından kaynaklandığı ve 1980'li yıllardan itibaren kozmetik firmalarının patentleri almasıyla birlikte hızlı bir şekilde mikroplastik kullanımlarının arttığı belirtilmiştir [86]. Bileşim, şekil ve boyutları kullanılan kozmetik ürünlerine göre değişmektedir [17]. Örnek vermek gerekirse polietilen ve polipropilen granüller (<5 mm), polistiren şekiller (<2 mm) tek bir kozmetik ürününde tespit edilmişlerdir [86]. Brown ve diğerleri [87], kutuplardan ekvatora 6 kıtayı içeren 18 bölgede kıyılarda biriken mikroplastik kirliliğini gruplandırmışlardır ve deniz ortamında mikroplastik kirliliğin ana kaynağının yıkanmış kıyafetlerin lif malzemelerinden olduğunu belirtmişlerdir. Bulunan %78 oranındaki polyesterin ve %22 oranında ki akrilik lifin çamaşır makineleri çıkış sularından kaynaklanan tekstil endüstrisinde kullanılan plastiklerden kaynaklandığı düşünülmüştür [88]. Ayrıca mikroplastik kirliliğin miktarı ile nüfus yoğunluğu (insan) arasında pozitif bir ilişki olduğu belirtilmiştir [88].

2.2.2.2 İkincil Mikroplastikler

İkincil mikroplastikler büyük plastiklerin parçalanması ile oluşmakta ve küçük parçacıklar olarak su ve kara ortamında görülmektedir [66]. Plastiklerin ömrünün aylar ile binlerce yıl olduğu tahmin edilmektedir [89], [90]. Plastik atıkların çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesler sonucu parçalanmasıyla yapısal bütünlüğünün azaldığı birçok raporlarda belirtilmiştir [74]. Ayrışma, plastiklerin parçalanmasına neden olan en önemli prosestir. Corcoran ve diğerleri [91], sahillerin mekanik ve kimyasal ayrışmanın varlığıyla plastik parçalanmasının en uygun olduğu yer olarak belirtilmiştir. Diğer bir parçalanmaya etken olan proses ise güneş ışığı tarafından ışıl parçalanmadır. Güneş ışığındaki ultraviyole, radyasyonlar polimer matrislerin oksidasyonuyla birlikte kimyasal bağların kırılmasına neden olmaktadır [90]. Soğuk havalarda deniz ortamının sıcaklığı karşılaştırıldığında, plastik atıkların daha fazla oksijen konsantrasyonuna maruz kalmaları nedeniyle daha hızlı parçalanabileceği ve doğrudan güneş ışığına maruz kaldığında ise yapısal bütünlüğünü kaybedeceği

ifade edilmiştir [74]. Genel olarak ifade edilirse ikincil mikroplastiklerin kimyasal ve fiziksel prosesler sonucunda büyük plastiklerin UV, dalga, rüzgar, canlılar tarafından parçalanmasıyla oluştuğu anlaşılmaktadır [21],[92]. Sonuç olarak plastik parçacıklar aşınma, dalga hareketleri ve türbülans gibi mekanik kuvvetlerin etkisine karşı savunmasız oldukları için parçalanmaları kaçınılmazdır [90]. Biyolojik olarak parçalanabilen plastikler de mikroplastik kaynağı olup bu plastikler sentetik polimerlerden, bitki yağları ve nişastadan oluşmaktadır [79], [93], [94].

2.2.3 Mikroplastiklerin Özellikleri

Su ortamlarından toplanan mikroplastiklerin, bazıları küresel bir görünüme sahipken, bazıları ise lifli veya gelişigüzel görünümlere sahip ve her türlü şekil, renk ve boyutta bulunmaktadırlar [32]. Birincil mikroplastikler, küresel veya lifli bir şekil sergileyen ve tutarlı bir düz yüzeye sahip olan, üretilmiş bir görünüme sahip olma eğilimindedir. İkincil mikroplastikler ise daha çok rastgele bir görünüme sahip oldukları bilinmekte ve bu durum kategorize edebilme durumlarını zorlaştırmaktadır. [80]. Karakterizasyonda bir diğer önemli zorluk ise, hava koşullarının her iki mikroplastik türünün de görünümlerini önemli ölçüde değiştirebilmesidir [95]. Ayrıca, mikroplastikler çok çeşitli farklı renklere sahiptir [38]. Bu nedenle, farkı renklere sahip olmaları ortamdan geri kazanılan mikroplastikleri kategorize etmek için temel sistem olarak kullanılmaktadır. Mikroplastiklerin renginin genellikle kimyasal kirleticilerle ne derece kontamine olduklarının bir göstergesi olduğunu belirtmekte fayda vardır. Gerçekten de yapılan araştırmalarda, sarı ve siyah mikroplastiklerde en yüksek kirletici seviyeleri tespit edilmiştir [46], [96], [97]. Mikroplastikler şekilsel olarak 5 farklı kategoriye ayrılabilir. Bu kategoriler Tablo 2.5'de verilmiştir.

Tablo 2.5 Şekilsel olarak mikroplastik kategorileri

Tür	Tanım
Pelet (granül)	Çapı 5 mm'den 1 μm'ye kadar olan küçük küresel plastik parçası
Fragment	En uzun boyutu boyunca boyutu 5 mm ila 1 μm arasında olan düzensiz şekilli plastik parçası
Fibre (Filament)	En uzun boyutu boyunca boyutu 5 mm ila 1 μmarasında olan bir plastik fibre veya filament
Film (sheet)	En uzun boyutu boyunca boyutu 5 mm ila 1 μmarasında olan ince bir levha veya mebran benzeri plastik parçası
Köpük (foam)	En uzun boyutu boyunca 5 mm ila 1 μm arasında olan sünger, köpük veya köpük benzeri plastik malzeme parçası

2.2.3.1 Mikroplastiklerin Yoğunlukları

Bir mikroplastiğin yoğunluğu, su ortamındaki mekansal dağılımını etkileyecek kilit bir faktördür. Kuzey Atlantik'te neuston ağları ile mikroplastiklerin toplanmasını içeren bir çalışmada, deniz suyundan daha yüksek yoğunluğa sahip mikroplastiklerin yüzey sularında yüzdüğü tespit edilmiştir. Benzer şekilde, yüzey sularındaki plastik çöpler üzerine yapılan bir çalışmada, batı Kuzey Atlantik Okyanusu'ndaki neuston ağları ile toplanan mikroplastiklerin %99'u deniz suyundan daha düşük bir ortalama yoğunluğa sahip olarak bulunmuştur ve mikroplastiklerin yoğunluğunun 0,808 ila 1,238 g/cm^3[98] arasında değiştiği bildirilmiştir. Deniz suyunun yoğunluğu ise 1.025 g/cm^{3}olduğu kabul edilmektedir. Bu sonuçlar şaşırtıcı olabilir, çünkü sezgisel olarak, yüzeyde yüzen ve deniz suyundan daha yoğun bir yoğunluğa sahip bir malzeme bulunması beklenmez. Bu nedenle, deniz suyundan önemli ölçüde daha büyük bir yoğunluğa sahip mikroplastiklerin, yalnızca alt tortuda değil, küçük miktarlarda da olsa yüzey sularında bulunması mümkündür. Bu durumun iki ana sebebi vardır:

1. Yüzey sularında bu tür yüksek yoğunluklu mikroplastiklerin oluşumu, farklı derinliklerdeki sıcaklık farklılıklarının (dikey karışım) bir sonucu olarak suyun güçlü yukarı ve aşağı hareketlerinden kaynaklanabilir.

2. Deniz suyundan daha yoğun mikroplastikler, içlerinde cepler veya hava kabarcıkları içerebilir, böylece kaldırma kuvvetlerini arttırır ve yüzeyde yüzmelerine izin verir [99].

İlginç bir şekilde, polivinil klorür (PVC) ve poliamid (naylon) sırasıyla 1.15-1.70 g/cm^3 ve 1.12-1.38 g/cm^3 arasında yüksek yoğunluklara sahip olmalarına rağmen, rüzgar ve gelgit akımlarının mikroplastiklerin çeşitli deniz bölgelerine taşınmasında katkıda bulunan faktörler olduğu sonucuna varılmıştır [100]. Bu, en azından bazı yoğunluğu yüksek mikroplastiklerin, sadece bentoslara batmak ve sedimentlere dahil olmak yerine, dinamik atmosferik ve okyanus akıntıları tarafından aktif olarak harekete geçirildiğini düşündürmektedir. Mikroplastiklerin yoğunlukları zamanla azalabileceği gibi artma eğilimi de gösterebilmektedir. Bu durum iki farklı şekilde tanımlanmaktadır:

1. Bazı mikroplastiklerin yoğunlukları çevresel faktörlerin etkisiyle artabilmektedir. Örneğin, polietilen, deniz suyundan (0.92-0.97 g/cm^3) daha düşük yoğunluğa sahip olarak bilinmekte ve hava koşullarının etkisiyle yoğunluğunda artma meydan gelebilmektedir.

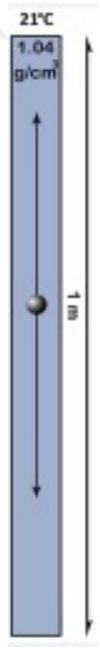
2. Biyokütle gibi kirletici maddelerin mikroplastik parçacıkların yüzeyinde birikmesiyle mikroplastik yoğunluğunda bir artışa neden olmakta ve batmalarına olanak sağlamaktadır.

Plastiklerin çeşitli deformasyonlara maruz kalmasıyla yüzeylerinde aşınma, çukurlaşma ve çatlama görülmektedir. Bunlara ek olarak, deniz ortamında bulunan her şey, mikroplastiklerin yüzeylerinde biyokütle gibi bir kirletici madde tabakası olarak birikebilmektedir. Sudan daha az yoğun olan mikroplastiklerin biyolojik olarak kirlenmesi, mikroplastiklerin bentoslara yavaşça batmadan önce su sütunu içinde nötr yoğunluğa ulaşmasını sağlayan yoğunluktaki bir artışı kolaylaştırmaktadır. En önemlisi, mikroplastiklerin deniz agregalarına da dahil edilebilmesidir. Bunlar, denizin tabanına yerleşebilen pelet benzeri çökeltileri oluşturan partiküllü organik ve organik olmayan atıklardır. Yoğunluk farkı ile

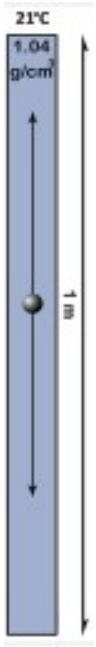
değişen kaldırma kuvveti etkisiyle, mikroplastikler ve diğer plastikler, deniz agregalarının bentoslara batmasındaki çökelme hızında etkiye sahiptir. Bu duruma örnek verilirse, diatom agregalarının çökelme oranlarının düştüğü gözlemlenirken, kriptofit agregatlarının batma hızının yaklaşık on kat arttığı gözlemlenmiştir [46].

Tüm bunlarla birlikte, mikroplastiklerin yoğunluğu, su kolonunda nerede bulunabileceklerini belirlemede oldukça önemli bir faktördür ve genel olarak deniz suyundan daha yoğun olan mikroplastiklerin dibe doğru çökelmesi, deniz suyundan daha düşük yoğunluğa sahip olanların ise deniz yüzeyinde yüzmesi olarak açıklanmaktadır. Tablo 2.6'da çeşitli plastiklerin yoğunluklarını ve 1.025 g/cm^3 yoğunluğa sahip 1 mm boyutunda tek bir küresel mikroplastik parçacığın 21°C'de sıcaklığı olan 1 metrelik türbülanslı olmayan bir deniz suyu kolonunun merkez noktasında serbest bırakıldığında yükselip yükselmeyeceğini veya alçalacağına ilişkin bilgiyi göstermektedir.

Tablo 2.6 Yaygın mikroplastiklerin yoğunluğu ve kaldırma kuvveti

Madde	Kısaltma	Yoğunluk (g/cm3)	Deniz suyu sütununda yön	
Deniz suyu	SW	1,025	-	
Polistiren (genişletilmiş köpük)	EPS	0,01-0,05	Yükselir ↑ (sıkışmış gaz nedeniyle)	
Polistiren (ekstrüde köpük)	XPS	0,03-0,05	Yükselir ↑ (sıkışmış gaz nedeniyle)	
Polikloropren (neopren) (köpüklü)	CR	0,11-0,56	Yükselir ↑ (sıkışmış gaz nedeniyle)	
Düşük yoğunluklu polietilen	LDPE	0,92-0,94	Yükselir ↑	
Lineer düşük yoğunluklu polietilen	LLDPE	0,92-0,95	Yükselir ↑	

Tablo 2.6 Yaygın mikroplastiklerin yoğunluğu ve kaldırma kuvveti (devamı)

Madde	Kısaltma	Yoğunluk (g/cm3)	Deniz suyu sütununda yön	
Yüksek yoğunluklu polietilen	HDPE	0,94-097	Yükselir ↑	
Akrilonitril bütadien stiren	ABS	1,03-1,21	Batar ↓	
Poliamid (naylon 6)	PA	1,12-1,14	Batar ↓	
Poli(metil metakrilat)	PMA	1,10-1,25	Batar ↓	
Polikloropren (neopren) (katı)	CR	1,20-1,24	Batar ↓	
Poliamid (naylon 6,6)	PA	1,13-1,38	Batar ↓	
Polistiren (katı)	PS	1,04-1,50	Batar ↓	
Polikarbonat	PC	1,15-1,52	Batar ↓	
Polietilen tereftalat	PET	1,30-1,50	Batar ↓	
Polivinil klorür	PVC	1,15-1,70	Batar ↓	
Politetrafloroetilen	PTFE	2,10-2,30	Batar ↓	

Genel olarak, tipik bir mikroplastik numunesi, birkaç farklı plastik türünden oluşmaktadır. Su ekosistemlerinden çok karşılaşılan plastik türleri polivinil klorür, polietilen tereftalat, polietilen, polipropilen ve polistiren olarak bilinmektedir. Bunlara ek olarak, polistiren gibi bazı plastikler, diğer plastik türlerinden çok daha yaygın bulunabilmekte ve bölgelere göre bulunma eğilimleri birbirinden farklı olmaktadır. Özet olarak su ekosistemlerinde en

yaygın görülen üç mikroplastik türü polietilen, polipropilen ve polistirendir [3], [101].

Mikroplastiklerin su ortamına girdikten sonra davranışları üç farklı kategoriye ayrılmaktadır:

1. Birikme, çökelme ve taşınım vb. gibi fiziksel davranışlar.

2. Kirleticilerin tutunma ve emilim gibi kimyasal davranışlar.

3. Canlı hücreler tarafından yutulma, yer değiştirme ve besin ağına katılma vb. gibi biyolojik davranış.

2.2.4 Plastik Atık Birikim Kaynakları

Plastik atıklar ilk olarak Carpenter ve diğerleri [15] tarafından rapor edilmiştir. Kuzey Pasifik girdap merkezinde plastik atıkların belirgin olarak artışı deniz biyolojisinde plastik kirliliğinin yüksek öncelikli çalışma alanı haline getirmiştir [5]. Böylelikle plastik kirliliğinin çevre üzerine olan etkisi; araştırmacılar, politikacılar, işletmeciler ve halk tarafından dünya çapında hızla ortaya çıkan önemli ilgi alanı haline gelmiştir [102].

Yüksek dayanıklılığa ve korozyonlu akışkanlara karşı dirençli olmalarından dolayı plastik atıklar çevresel açıdan önemli problemler teşkil etmektedir [90]. 2010 yılında kıyı ülkelerinde 275 milyon ton plastik atığın üretildiği ve üretilen bu plastiklerin 8 milyon tonunun dünyadaki okyanuslara ulaştığı tahmin edilmiştir. 2020 yılına kadar ise okyanuslara ulaşan plastik atık miktarının on kat artacağı tahmin edilmiştir [61]. Son çalışmalar göstermiştir ki kısa vadede ve etkili önlemler alınmazsa dikkate alınması gereken miktarda plastik atıklar; okyanusları, tatlı suları ve karasal ekosistemleri etkilemeye devam edecektir [103], [104]. Tahmin edileceği gibi bir ülkenin sosyo-ekonomik durumu plastik kirliliğinin boyutunun güçlü bir ön görücüsüdür [105]. Gelişmekte olan ülkeler resmi atık yönetimi için gerekli alt yapı ve finansal kaynaklardan yoksundur. Gelişmiş ülkeler ise yüksek tüketimleri nedeniyle gelişmekte olan ülkelere göre daha fazla atık üretmektedirler [106]. Çabaların odağı okyanuslardaki plastik kirliliğine yönelik olsa da araştırmalar tatlı su sistemlerine de yönelmeye başlamıştır [107]. Kıyılarda plastik atıklarının tahmini 2,8- 18,6%'sının kaynağı

nehirlerden kaynaklanmaktadır ve toplam küresel girdinin 86%'sını Asya nehirleri temsil etmektedir [108]. Bu durum yüksek nüfus yoğunluğundan, yüksek seviyelerde yetersiz yönetimden ve mevsimsel sel baskınlarından kaynaklanmaktadır [109].

Plastik kirliliğinin başlıca ana kaynakları endüstriyel atıklar, evsel katı atıklar ve evsel/endüstriyel atıksuların yetersiz arıtılmasından kaynaklanmaktadır [110]. Balık ağları, halatlar ve plastik poşetler, plastik şişe kapakları, plastik çatal/kaşık vb. gibi birçok plastik atık türleri doğal ortamlarda bulunmaktadır. Plastik atıkların içeriğinin %50'sinin mutfak eşyaları, plastik poşetler ve ambalaj gibi tek kullanımlık malzemelerden oluştuğu tahmin edilmektedir [111]. Bunlara ek olarak plastikler düşük üretim maliyetlerinden dolayı otomotiv, paketleme, tarım ve inşaat-yapı gibi birçok alanlarda kullanılmakta olup hayatımızın neredeyse tüm bölümlerinde yer almaktadır. Küresel olarak plastik kirliliği hızlı büyüyen bir endişe haline gelmekte [107] ve özellikle bu atık türünün insan ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri daha iyi anlaşıldıkça araştırma ilgisi artmaktadır [112], [113], [114], [115], [116].

Plastik atıklar su ekosistemlerine doğrudan veya dolaylı yollardan ulaşmakta ve bu ortamlarda birikmektedir. Kara ve okyanus kaynaklı atıklar kıyı ve deniz ekosistemlerinde yerinde veya yerinde olmayan kritik plastik atık kaynaklarıdır. Browne ve diğerleri [74] plastik atıkların önemli miktarının arıtma tesislerinde tutulamadığını ve su ekosistemlerine salıverildiğini öne sürmüşlerdir. Goiana Haliç'indeki birincil mikroplastiklerin birikiminin Güney Amerika'daki nehir havzalarına zarar verdiği bilinmektedir [117]. Ayrıca Thushari ve diğerleri [118] yerinde atık birikimi ile evsel atıksular ve kıyı yerleşimleri aktivitelerinin önemli ölçüde katkı sağladığını belirtmişlerdir. Kayıtlara göre turizm ve eğlence aktivitelerinin de deniz ve kıyı ortamlarında plastik birikimlerine etki ettiği anlaşılmaktadır [118]. Thushari ve diğerleri [119] Tayland'ın seçilmiş plajlarında görülen %60'dan fazla plastik atıkların turizm ve eğlence aktivitelerinden ulaştığını belirtmişlerdir. Plastik atıklar sahillerden okyanuslara taşınmakta ve ikincil plastikleri oluşturmaktadır [80]. Brezilya'nın kuzeydoğu'sundaki şehirlerde, plastik pelet ve fragmentler tespit edilmiş olup bu kaynakların büyük plastik parçalarının kırılması ile biriktiği pelet parçaların

ise liman tesisleri yakınlarında operasyonel aktiviteler sonucu oluştuğu rapor edilmiştir [31]. Diğer bir plastik birikimlerine neden olan kirleticiler ise balıkçılık ve av malzemelerinden kaynaklandığı literatür kayıtlarında belirtilmiştir [120]. Okyanuslarda ki plastik birikim oranı; fırtına, kasırga ve sel gibi ekstrem hava koşullarının etkisiyle kara kaynaklı atıklarda artırmaktadır [121]. Kaliforniya'da fırtınalı hava koşullarında toplanan sularda yapılan çalışmada mikroplastik yoğunluğu normal hava koşullarına göre 6 kat daha fazla bulunduğu tespit edilmiştir [122]. Hint Okyanus'unda bir ada olan Sri Lanka batı kıyılarında Ağustos- Kasım ayları arasında (güneybatı muson sonu) 140.34 ±13.99 partikül (sayı)/m^3 plastik atık kayıt edilmiş olup, kaynağının turizm ve balıkçılık aktivitelerinden olduğu belirtilmiştir [123]. Plastik atıklar okyanuslara kıyı su akımları ile sahillerden girmekte, bazı zamanlarda monofilament ve naylon balık ağları liman hareketleri ile kıyı alanlarda ve okyanus yüzeylerinde yüzebilmektedir. Yüzen naylon atıklar okyanus akım hareketleri ile farklı alanlara taşınabilmektedir [80]. Denizcilik ve gemicilik faaliyetleri de denizlerde kıyı alanlarda plastik birikimine neden olan diğer kaynaklar olarak bilinmekte, gemiler bilinçli veya bilinçsiz bir şekilde atıklarını okyanuslara bırakmakta, 1990 yılların başından beri her yıl yaklaşık 6.5 milyon ton plastik atık birikmektedir [93]. Kaza ile plastik atıkların ulaşım esnasında kara veya okyanuslara atılması deniz ortamına doğrudan veya dolaylı yoldan plastik atık girmesine neden olmaktadır [80].

2.2.4.1 Kara Kaynaklı Atıklar

Kara kökenli plastik atıklar deniz ortamındaki plastik atıkların %80'nini oluşturmakta ve bu atıkların yoğun nüfusa sahip veya sanayileşmiş alanlarda kullanılan plastik poşetler ve katı atıklardan kaynaklandığı bilinmektedir [93]. Bunlara ilave olarak başlıca kara kaynaklı atıklar temiz su girişleri, yerleşim yerinden ve evlerden kaynaklanan aktiviteler, turizm ve diğer ekonomik kaynaklar olarak bilinmekte deniz ortamında bulunan plastik atıkların %75'inden fazlasının kara kaynaklı atıklardan kaynaklandığı bilinmektedir [5].

Lee ve diğerleri [124] bir çalışmada Güney Çin Deniz'indeki yüzen ve sahillerinde bulunan plastik atık kaynaklarının kara kökenli ve kıyılardaki

rekreasyon faaliyetlerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Diğer araştırmacılar ise plastik atıklarının büyük miktarının ham madde üretim tesislerinden ve bunların taşınımı sırasında meydana gelebilecek kazalardan veya diğer işlemler vasıtasıyla denizlere ulaştığını düşünmüşlerdir [125]. Diğer kara kökenli atıkların ise atıksu arıtma tesisleri çıkış sularından kaynaklandığı bilinmektedir [32]. Plastikler, nehir sistemleri ve atıksu arıtma prosesleri aracılığıyla deniz ortamına taşınmaktadır [32], [80]. Bunlara ek olarak fırtına veya sel gibi ekstrem hava koşulları vasıtasıyla kara kaynaklı atıkların deniz ortamına taşınma hızının da artırdığını belirtmişlerdir [90]. Araştırmacılar, Kaliforniya sularında fırtına sonrasında mikroplastik miktarının 10 ile 60 plastik partikül/m^3 arttığını ve artan nehir su hacmi ile nehir ağızdan daha uzak mesafelere taşındığını bulmuşlardır [122].

2.2.4.2 Okyanus Kaynaklı Atıklar

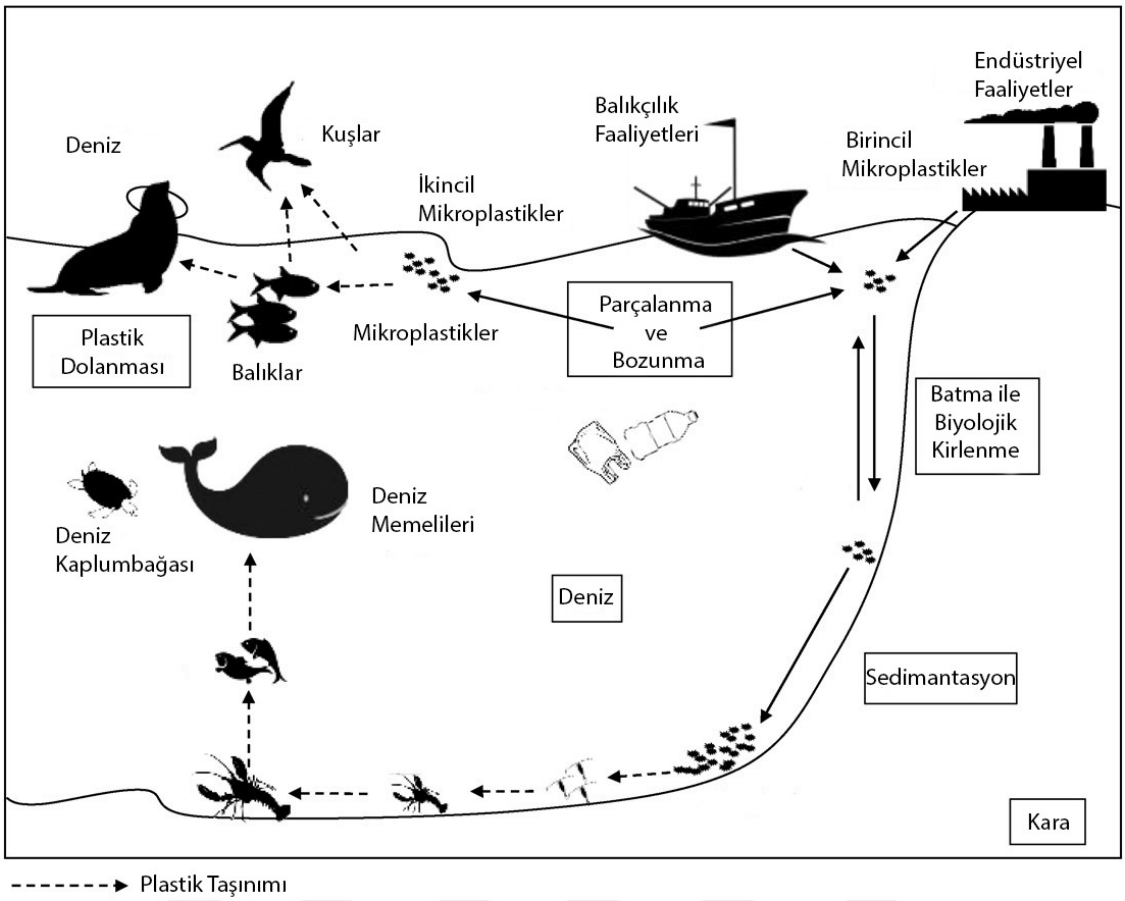
Denizlerde görülen plastik kirliliğinin kalan %20'sini ise insan kaynaklı ticari balıkçılığın katkısıyla okyanus kaynaklı atıklardan oluşturduğu bilinmektedir. 1975 yılında balıkçı filosunun batması sonucu 135.400 ton plastik olta takımı ve 23.600 ton sentetik paket malzemelerin deniz ortamında biriktiği tespit edilmiştir [126]. Günümüzde olta takımlarından kaynaklanan atığın 4 katına çıktığı değerinin ise 640.000 ton olduğunu ve her yıl okyanus ortamına eklendiği ve toplam deniz atıklarının %10'nunu içerdiği tahmin edilmektedir [127]. Atılan bu balıkçılık malzemelerinin monofilament misina iplikleri ve denizin belli derinliklerinde yüzen naylon ağlardan oluştuğu bunların "hayalet ağlar" olarak adlandırıldığı ve suda yaşayan canlılara dolanabildiğini belirtilmiştir [128]. Sahillerde görülen okyanus kaynaklı plastik atıkların sayısı ile ticari balıkçılık seviyesi arasında önemli bir ilişkinin olduğu belirtilmiştir [129], [130], [131]. Ayrıca Edyvane ve diğerleri [132] 10 yıl boyunca okyanus kaynaklı atıkların azalmasındaki olası etkiyi belirli kıyılardaki balıkçılıkta göstermişlerdir. Tüm bu çalışmalar okyanuslardaki plastik atık miktarında, balıkçılık faaliyeti seviyesinin katkısının olduğunu öne sürmüşlerdir [86].

2.2.5 Makro ve Mikro Plastik Atıkların Denize Ulaşması

Plastikler deniz ekosistemine birincil ve ikincil plastikler olarak girmektedir. Büyük plastikler mega ve/veya makro plastik atık boyutlarında ulaşabilmekte ve çevre koşulları etkisiyle (rüzgar, sıcaklık vs.) mikroplastiklere dönüşebilmektedir.

Denizlerdeki mikroplastik kirliliği, plastik üretimindeki sürekli artış nedeniyle ülkeler için endişe oluşturmakta ve bu kirleticilerin insan aktiviteleri, atıksu arıtma tesislerinde çıkış sularının deniz ortamına deşarj edilmesi ile birikmesiyle oluşmaktadır [68]. Makro plastiklerin atıksu arıtma tesislerinden doğrudan denizlere ulaşması mümkün olmasa bile denizlere insan aktiviteleri sonucunda ulaşan makro plastiklerin, UV, dalga, rüzgar, canlılar tarafından vb. parçalanması ile denizlerde mikroplastik olarak varlılıkları sürdürebilirler [133]. Mikroplastik kirlilik çalışmalarının çoğu deniz ve tatlı su ekosistemlerinde yapılmış olup yüzey suyu kirliliğine yöneliktir [134].

2015 yılında büyük plastik çöpler, temizlik ürünleri, ilaçlar ve tekstil olarak 4 farklı grupta plastik kaynakları tanımlanmıştır [92]. Makro plastik kaynaklarının %80'i kentsel katı atıklardan kaynaklandığı varsayılmaktadır [135]. Kozmetik ürünlerinden, ilaçlardan ve tekstilden kaynaklanan mikroplastikler yağmur suları ve kanalizasyon ile su ekosistemlerine ulaşmaktadır [92]. Su ekosistemlerinde bulunan mikroplastikler daha çok makro plastik ürünlerden ve tekstil liflerinden kaynaklanmaktadır [136].



Şekil 2.1 Plastik atıkların taşınımı ve biyolojik etkişimleri[40], [137]

2.2.6 Plastik Birikimin Etkileri

Plastik atıkların deniz yaşamına etkileri, farklı çeşitlerde ve birçok literatürde rapor edilmiş olup, deniz ekosistemindeki birçok biyoçeşitliliğe etki etmekte olduğu ve canlılar için büyük tehdit oluşturduğu bilinmektedir [138].

2.2.6.1 İlgili Ekosistemlerdeki Plastik Kontaminasyonunun Ekolojik Etkileri

Dolaşma ve yutma makro plastik parçacıklar ile ilişkili önemli bir sorundur. Gall ve Thompson [139], kayıtlarına göre 208 türü temsil eden >13.000 birey ve 243 türü temsil eden >30.000 birey, makro plastik parçacıklar tarafından dolaşma ve bireyler tarafından yutulma problemleriyle karşı karşıya geldiği bilinmektedir. Dolaşma vakaları birey canlılar ile balıkçılık ağları veya plastik balıkçılık halatları ile ilişkili, yutma vakaları ise yüksek oranda birey canlılar ve plastik parçacıklar ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir [139]. Olta kancaları ise daha çok kuşlar tarafından yutulabilen plastik atıklardır [140].

Mikroplastik birikimler ayrıca canlılar ve ekosistemlerde daha karmaşık sorunlara sebep olmaktadır [141]. Mikroplastik atıklar biyotik bileşenlerde, deniz suyu ve sedimentlerinde ve kıyı hatlarda birikebilen atıklardır [119], [123], [142]. Hafif ve düşük yoğunluğa sahip plastikler su yüzeyinde yüzerken, yüksek yoğunluğa sahip partiküller ise batmaktadır. Deniz ve kıyı yüzey sularında gelgitler arasında mikroplastik kontaminasyonlarının olduğuna dair literatürde birçok kayıt mevcut olduğu bilinmektedir [30], [123], [143]. Mikroplastiklerin boyutu, plankton ve askıda katı partiküller gibi besin maddeleri boyutuna benzemektedir [54]. Bisfenol-A (BPA), monomerler, alev geciktiriciler, metal iyonlar ve antibiyotiler gibi toksik kimyasallar plastikler ile ilişkili olup, bu kimyasallar deniz canlılarında birikmekte ve bu canlılar tarafından istemsiz bir şekilde yutulabilmektedir [144]. Balıklar, yumuşakçalar ve memeliler alev geciktirici ve ftalat içeren plastikler tarafından toksit etkiye maruz kalmaktadır [145], [146]. Deneysel çalışmalar, canlıların genetik mutasyonunda ve büyümelerinde, plastiklerde bulunan BPA ve ftalatın önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir [146]. Bir başka ifadeyle plastik materyaller kalıcı organik kirleticiler gibi toksik kimyasalları absorbe edebilmekte bu kimyasalların biyolojik bozulmaya karşı oldukça dirençli oldukları bilinmektedir. Kalıcı organik kirleticiler (KOK), endüstriyel prosesler sonucu oluşan Poliklorlu Dibenzo-p-Dioksinler (PCDD), Dibenzo Furanlar (PCDF) ve Poli-Klorlu Bifeniller (PCB) gibi organoklor pestisitleri içermektedir. Kalıcı kimyasalların plastik malzemeler üzerindeki adsorpsiyon ve absorpsiyon verimlerinin suya oranla daha fazla olduğu bilinmektedir [55], [145], [147], [148].

Cole ve diğerleri [149] tarafından, kalıcı maddelerin, ağır metallerin ve ilaçların içerdiği toksik kimyasal bileşiklerin deniz canlıları tarafından besin olarak alınmasıyla zararlı etki birikimleri daha çok olduğu bildirilmiştir. Bu maddeler gıda yoluyla insanlara ulaşmakta ve insan sağlığını da tehdit etmektedir.

2.2.6.2 İlişkili Ekosistemlerdeki Plastik Kirliliğinin Sosyo-Ekonomik Etkileri

Plastik kirliliği turizm, balıkçılık, denizcilik ve insan sağlığı gibi birçok sosyo-ekonomik etkiler üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu ve bu atıkların

çevreden bertarafı için ülke ekonomilerinin yüksek bütçeler ayırdığı bilinmektedir. Aşırı plastik kirliliği ve birikimi okyanus havzalarını ve kıyı bölgelerdeki ticari balıkçılığı, turizmi ve su ürünleri yetiştiriciliğini doğrudan etkilemektedir [150]. Örnek olarak İskoçya'da plastik içeren balıkçılık ağları ve PVC borular gibi birçok atığın, balık tutma veriminde kayıplara ve uzun süre temizlik çalışmalarına neden olduğu bilinmektedir [151].

2.2.7 Plastik Kirliliğinin Kontrolü ve Önlenmesine Yönelik Girişimler

Plastik kirliliği sorunlarını çözebilmek için birçok strateji ve yönetimler tanımlanmaktadır. Küresel, bölgesel ve ulusal düzeydeki kurumlar deniz ve kıyı ekosistemlerinde plastik atık birikimlerinin önlenmesi ve kontrolü için önemlidir [150].

2.2.7.1 Küresel Ölçekli Girişimler

Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku plastik kirliliğini konu alan küresel ölçekli girişimlerin örneklerinden biri olarak bilinmektedir. Madde 207 ve 211 plastik atık içeren atıklara ve bu atıkların azaltılmasını, kontrol edilmesini ve önlenmesini vurgulamaktadır. Ayrıca, devletler farklı kaynaklardan kaynaklanan kara ve deniz tabanlı atıkların kontrolü, azaltılması ve önlenmesine yönelik çalışmaları da sağlamaktadır [150]. Ek olarak, aynı sorunlara çözüm için, Uluslararası Deniz Teşkilatı, Gıda ve Tarım Ulusal Birlikleri (FAO), Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve alt- bölgesel balıkçılık yönetimleri gibi uluslararası, ulusal ve bölgesel örgütlerin de kayıp veya terk edilmiş balıkçılık malzemelerine çözüm bulmaya katkı sağladıkları bilinmektedir [152].

Plastik atıklar, en önemli çevre problemleri olarak tanımlanmıştır [153]. Birleşmiş Milletler Kalkınmaya İlişkin Sürdürülebilirlik Sözleşmesi'nde (Rio +20) okyanus havzaları ve deniz bölgelerinde plastik kirliliğinin kontrolünün gerekliliğini vurgulanmaktadır. Ayrıca Uluslararası Denizcilik Örgütü çerçevesinde 163 uygulama vurgulanmıştır. Bu örgütler, bilimsel verileri ve kanıtları kullanarak 2025 ve sonrası için deniz kirliliği yönetimini uygun öncelikleri ve farklı girişimleri tanımlamaktadır. Bu tür bilimsel literatür taramaları, küresel ölçekli uygulama alanlarını ve öncelik durumlarını

belirlemede önemli rol oynamaktadır. Bir başka sözleşme olan Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL), gemilerden kaynaklanan atıkların yönetimine ait bilgileri içermektedir [150].

Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi (CBD) (Madde no.7) plastik atıkların kıyı ve deniz biyo çeşitliliğine olan etkilerini azaltmak için uygulanan yöntemleri ve deniz kirliliğini önlemeye yönelik çalışmaları içermektedir [150].

Göçmen Türler Sözleşmesi (CMS), aşağıdaki uygulamaların güçlü hale gelebilmesi için yürürlüğe girmiştir: (i) tüm dünyada deniz atıklarını aramak , (ii) kıyı ve deniz biyo çeşitliliğine plastik atıkların etkilerinin değerlendirilmesi, (iii) bölgesel alanlarda biriken deniz atıklarının tanımlama metotlarının ve kontrol mekanizmalarının tanımlanması, (iv) ulusal düzeyde deniz ortamında enkaz oluşumuyla biriken atıklarının azaltılmasına ilişkin uygulamaları içermektedir [150]. Her ne kadar plastik atıklar ve atık yönetimi birbirleriyle ilişkili bileşenler olsa da, uluslararası yasal yönetmelikler veya antlaşmalar atık yönetiminin bütününe odaklanmamışlardır [154].

Denizlerde ki plastik atıkların birikimini ve plastik kirliliğinin etkilerini azaltmak için atık yönetimleri ilişkilendirilmiş olup, böylelikle uluslararası kabul edilmiş entegre atık yönetimi programı önerilmiştir [153]. Basel Sözleşmesi tehlikeli atıkları ve bu tür atıkların bertaraflarını konu alan önemli mevzuatları içermektedir [150]. Katı plastik parçacıklar tehlikeli atıklar olarak kabul edilmektedir ve insan sağlığı açısından birçok hastalıklara sebep olduğu bilinmektedir [135].

2.2.7.2 Bölgesel Ölçekli Girişimler

Bölgesel düzeyde UNEP'in Bölgesel Denizler Programı'nda ilgili faaliyetler için Akdeniz denizi, Baltık denizi, Karadeniz, Hazar Denizi, Doğu Asya denizleri, Kızıldeniz, Doğu Afrika denizi, Güney Asya denizi, Karayip denizi, Kuzeydoğu Atlantik denizi, Körfez Aden denizi, Kuzeybatı Pasifik denizi ve Güneydoğu Pasifik denizlerini içeren 13 bölgesel denizler önerilmiştir. Bu bölgelerde kıyı temizleme programları tüm dünyada küresel bir proje olarak tanımlanmıştır. 2008 yılında kurulan Avrupa Birliği'nin Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (MSFD), bölgesel düzeyde deniz atıklarının azaltılmasına odaklanmıştır.

Yönetmelik, Ekosistem Tabanlı Yaklaşımla ekosistemdeki sürdürülebilir kaynakların ekosistemin korunmasıyla olacağını hedeflemiştir. Bu amaç tüm Avrupa ülkelerinin ortak çabası haline gelmiştir. Üye devletler 2020 yılına kadar deniz alanlarında izleme çalışmaları ve ulaşabilir hedefleri belirleme üzerinde çalışmışlardır [150]. Güney Kore deniz atıklarının izlenmesi, tanımlanması, önlenmesi, arıtımı ve geri dönüştürülebilirliğinde 10 yıldır uzun süreli proje yapılmıştır [155]. Ayrıca bilimsel çalışmalarda, Güney Amerika'nın nehir ağzı kısımlarında etkili yönetim için plastik kirliliğinin dağılımını tanımlama çalışmaları önerilmiştir [156], [157], [158]. Barlette ve diğerleri [159] Güney Amerika'da bulunan nehirlerin korunması için geri dönüşüm ve çevresel göstergelerin temizlenmesi gibi birçok plan önermişlerdir.

2.2.7.3 Ulusal Ölçekli Girişimler

Ulusal düzeydeki mevzuatların çoğu deniz ve kıyı ekosisteminde plastik kirliliğini azaltırken katı atık yönetimi ve atık üretimini önemli konu olarak ele almaktadır. Amerika'da Deniz Atıkları Araştırma, Önleme ve Azaltma Yasası ile Deniz Plastik Kirliliği Araştırma, Kontrol Yasaları bölgesel düzeyde önemli olan anahtar mevzuatlardır. Güney Kore'de 1999-2009 yılları arasında deniz atıkları birikimini önlemek için deniz atıklarının Pratik Entegre Sistemini kurmuşlardır. İskoçya 2013 yılında İskoç Deniz'i çöp stratejelerini geliştirmiş olup, Sri Lanka 2017 yılında ulusal ölçekli düzenlemelerine polietilen ve diğer plastik türlerinin yönetimini ilave etmişledir [150].

Deniz atıklarını yönetebilmek için 4 ana kategoride kapasite geliştirme faaliyetleri tanımlanmış olup, eğitim ve farkındalık, araştırma ve bilimsel çalışmalar, yeni tesisler oluşturma ve siyasi formülasyonlarından oluşmaktadır. Kısa ömürlü plastik poşetler tüm plastik malzemeler arasında ciddi bir endişe kaynağı olarak bilinmekte ve birçok ülkede polietilen poşetlerin kullanımın yasaklanması, vergi veya depozito uygulamaları ile ücretlendirilmesi gibi farklı kontrol ve önleme ölçümleri ile İsviçre, Çin, İtalya, Ruanda, Güney Afrika, Kenya, Kongo, Hong Kong, Bangladeş, Meksika, ABD'de bazı eyaletlerde, Hindistan'da birkaç eyalette, Avustralya, İrlanda, Danimarka, Güney Kore, Romanya, Japonya, Brezilya'nın Sao Paolo eyaleti ve Yeni Zelanda, gibi birçok

ülkede ulusal düzeyde uygulanmaktadır. Ulusal düzeylerdeki plastik atıkları etkili bir şekilde önleme uygulamalarında günümüzde plastik içermeyen çevre çalışmalarına öncelik verilmektedir [150].

2.2.7.4 Plastiklerin Yeniden Kullanımı, Geri Dönüşümü ve Kullanımının Azaltılması ile Kirliliğe Etkisi

İngilizcede yeniden kullanım, geri dönüşüm ve azaltma kelimelerinin baş harflerinden oluşan 3R kuralı plastik atık istenmeyen çevreler için önemli uygulamalar içermektedir. Plastik kullanıcıların, plastiklerin azaltılmasında ve yeniden kullanılmasında etkin rol oynadığı ve bu etmenlerin okyanus ekosisteminde plastik atık birikimin azaltılmasında bireysel veya toplu faaliyetler olarak rol aldığı bilinmektedir [150]. Eko etiketli ürünler, tüketicilerin çevre dostu ürünlerin ve çevreye zarar vermeyen ürünlerin alınmasına ve sürdürülebilir çevre için destek verilmesine katkı sağlamaktadır. 10 ülkede yapılan 43 farklı yeşil ambalaj etiketleri ulusal düzeyde plastik kirliliğinin azaltılmasında önemli rol oynamışlardır [150]. Biyolojik olarak parçalanabilen plastik paketleme malzemeleri, plastik atık birikimlerinin azaltılmasında seçilebilen bir seçenek olarak bilinmektedir [160].

Bir diğer seçenek olan finansal veya fiziksel teşviklerin de plastik malzemelerin toplanması veya geri dönüşüm proseslerinde fayda sağladıkları bilinmektedir. Bu girişimler ulusal, bölgesel ve küresel düzeyde deniz ve kıyı ekosistemlerinde plastik birikimini önlerken aynı zamanda toplum ekonomisine de fayda sağlayabileceği belirtilmiştir [150].

2.3 Marmara Denizi ve Mikroplastik Kirliliği

Marmara Denizi (26° 07’ E, 41° 44’ N: 030° 17’ E, 39° 46’N), yaklaşık 70 km genişliğinde ve 250 km uzunluğunda, 11.500 km^2 yüzey alanına ve maksimum 1.390 m derinliğe sahip küçük bir havzadır. Avrupa ve Asya kıtaları arasında yer alan Marmara Denizi, İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı ile birlikte Türk Boğazlar Sistemini oluşturmaktadır [161], [162]. Karadeniz'den gelen ‰17,6 tuzluluk içeren sular, aşırı akıntı ile İstanbul Boğazı'ndan Marmara Denizi'ne akarken, Ege Denizi'nden gelen sular (tuzluluk yaklaşık ‰38,5) Çanakkale üzerinden alt akıntı ile Marmara Denizi'ne taşınmaktadır [163]. Birbirine

karışmayan bu iki tabaka arasında yaklaşık 25 m derinliğinde bir ara tuzluluk tabakası bulunur. Bu derin tuzlu sular düşük oksijen içeriğine sahiptir ve hem acı hem de tipik deniz suyu içeren Marmara Denizi'nin fauna ve florası çok çeşitlidir [163]. Türkiye nüfusunun yaklaşık %20'sinin Marmara Denizi çevresindeki illerde yaşaması ve Türkiye'nin sanayi üretiminin büyük bir bölümünün ağırlıklı olarak İstanbul-İzmit arasında olması, Marmara Denizi'nin sosyo-ekonomik önemini artırmaktadır [164]. Marmara Denizi, Karadeniz ülkelerinin deniz ticareti açısından önemli bir araç olup, istenilen düzeyde olmasa da deniz, rekreasyon ve turizm için kullanılmaktadır. Diğer yandan Marmara Denizi, insan faaliyetlerinden kaynaklanan evsel ve endüstriyel atıkların denize deşarjı sebebiyle ciddi oranda atık yükü ile baskı altındadır. Özellikle Türk Boğazlar Sistemini oluşturan Marmara Denizi ile Çanakkale Boğazı ve İstanbul Boğazı'nda son yıllarda artan deniz trafiği ve İstanbul Boğazı'ndan gelen Karadeniz kaynaklı kirleticiler bu baskıyı daha da artırmaktadır [164].

Yaklaşık 933,3 km kıyısı olan Marmara Denizi, pek çok açıdan çevresel risk altında olan ve bazı özel şartlara sahip bir iç denizdir. Marmara Denizi Havzası'ndaki kirlilik 22.841.211 insan nüfusu ile tüm Türkiye'deki kirliliğin yaklaşık %28,3'ünü oluşturmaktadır. Marmara Denizi endüstriyel, turizm, ticari ve rekreasyonel aktiviteleri içeren pek çok rekabet ortamına sahiptir. Marmara Havzası'nda endüstriyel faaliyetler İstanbul ve Kocaeli illerini içeren doğu kesiminde çok daha yoğundur. Marmara Denizi boyunca petrokimyasal, plastik, tekstil, fibre, mermer, otomotiv ve parçaları, demirli olmayan metal endüstrileri, boya ve vernik endüstrileri, demir-çelik endüstrisi, deri endüstrisi, et-balık-süt endüstrileri, ilaç endüstrisi ve kimya endüstrisini de içeren değişik ağır endüstriler yoğun olarak faaliyet göstermektedir. Ayrıca Marmara Denizi iç kesimlerinde birçok tersane, metalurji fabrikası ve enerji tesisleri bulunmaktadır [14]. Sanayi bölgelerinde oluşan atıksuların çoğu herhangi bir arıtıma tabi tutulmaksızın Marmara Denizi'ne veya denizi besleyen derelere deşarj edilebilmektedir. Diğer yandan Marmara Denizi, Akdeniz ve Karadeniz arasında bir iç deniz olduğu için sürekli bir akıntı mevcuttur ve bu akıntı sebebiyle denize çeşitli yollarla ulaşan kirleticiler daha uzak mesafelere taşınabilmektedir. Büyük yüzey alanına sahip olması dolayısıyla Marmara Denizi atmosferik çökelmelere

de maruz kalmaktadır. Marmara Denizi'nde suyun denizde hidrolik kalış süresi, büyük bir hacme sahip olduğu için daha uzundur ve dolayısıyla bu durum kirleticilerin denizde daha uzun süre kalmasına sebep olmaktadır. Özellikle biyolojik olarak birikme eğiliminde olan kalıcı organik kirleticiler söz konusu olduğunda Marmara Denizi'ndeki bu durum ekosistem açısından önemli derecede tehlike oluşturmaktadır [165].

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde üretilen evsel atıkların %90'ının, endüstriyel atıklarının ise %70'inin herhangi bir arıtma uygulanmadan veya basit bir ön arıtma sonrasında kıyı bölgelerine deşarj edildiği bilinmektedir. Deniz ekosistemleri belirli bir atık yükünü tolera edebilir ve bir süre sonra bu atıklar gerek seyrelme yoluyla gerekse de denizde bulunan biyokimyasal reaksiyonlar neticesinde bertaraf edilebilir. Marmara Denizi gibi yarı kapalı denizlerde sürekli olarak yapılan bu atıksu deşarjları kirletici yükünü arttırmakta ve artan besin maddeleri ile aşırı alg oluşumuna neden olabilmektedir. Fitoplankton topluluğundaki türlerden çevreye en çok uyum sağlayan türler baskın hale gelerek aşırı çoğalarak deniz suyunun rengini değiştirmekte ve böylece kırmızı gelgit olayları meydana gelmektedir. Su kolonundaki aşırı organik yük artışının sürekliliği de sedimentlerde organik madde birikmesine neden olmakta ve bu organik maddenin ayrışması dip sularda anoksik bir ortam sağlayarak bentik yaşamı olumsuz etkileyebilmektedir [166].

Marmara Denizi, Susurluk Nehir Havzası ve Marmara Havzası'ndan kaynaklanan önemli noktasal ve yayılı kirlilik kaynaklarının baskısı altındadır. Marmara Denizi kıyılarında bulunan İstanbul, İzmit, Bursa gibi pek çok ilde gerçekleştirilen endüstriyel ve sosyal faaliyetler bir iç deniz olarak kritik öneme sahip olan Marmara Denizi'nde kirliliğin günden güne artmasına sebep olmaktadır. Bahsi geçen illerden Marmara Denizi'ne yıllık bazda önemli bir atıksu yükünün girdiği bilinmektedir. İstanbul ilinde bulunan pek çok ön arıtma, biyolojik ve ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri atıksularını deniz deşarjı veya derin deniz deşarjı yoluyla Marmara Denizi İstanbul kıyılarına ve Boğaz'a deşarj etmektedir. Marmara Denizi'ne bir diğer kirlilik yükü Ergene havzasından ulaşmaktadır. Ergene nehrinin taşıdığı kirlilik, Marmara'da gözlenen su kalitesi bozulmasının baş sorumlularındandır. Çünkü Ergene Nehri sadece biyolojik

değil, kimyasal maddelerce de kirlenmiştir. Bu noktada Ergene havzası özelinde ivedi bir şekilde atıksu yönetimi planlanmalı ve uygulamaya konulmalıdır.

2021 yılı Ocak ayında Marmara Denizi'nde gözlenmeye başlanan ve 2021 Mart ayında Çanakkale bölgesinde de etkili olan müsilaj oluşumu Türkiye gündemini önemli derecede etkilemiştir. 2021 Temmuz ayına kadar pek çok noktada yoğun olarak varlığını devam ettiren müsilaj kirliliği Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından başlatılan temizleme faaliyetleri ile Temmuz 2021'de etkisini kaybetmiştir. 2021 yılında oluşan bu müsilaj kirliliğinin ana nedeninin deniz kaynaklı baskılardan ziyade ileri derecede arıtılmayan ve kontrolsüz bir şekilde denize deşarj edilen evsel ve endüstriyel atıksular, liman ve marina kaynaklı çeşitli atıklar ve atıksular olduğu bilinmektedir. Bu kirliliklere ek olarak, Marmara Denizi çevresindeki illerde gerçekleştirilen tarımsal faaliyetlerde kontrolsüz ve aşırı gübre kullanılması sonucu yüzeysel akış ile taşınan besin maddelerinin ve azot ve fosfor gibi nütrientlerin, Karadeniz'den yüzey akıntılarıyla taşınan kirletici yüklerinin, denize dökülen nehirlerin taşıdığı kirliliklerin ve son yıllarda etkileri daha yıkıcı olan küresel ısınma sebebiyle deniz suyu sıcaklığının artışının da müsilaj oluşumunu hızlandırdığı söylenebilir [167].

Son yıllarda tüm deniz ekosistemlerini ve sucul ortamları etkileyen mikroplastikler açısından ise Marmara Denizi riskli konumda ve durumdadır. Kalıcı organikleri adsorplama özellikleri olan mikroplastikler denizlerde sadece fiziksel kirliliğe neden olmamakta, suda yaşayan canlıların hayatının da tehdit etmektedir. Denizde birincil üreticiler olarak adlandırılan ve mikroplastikleri yutma eğiliminde olan algler ve fitoplanktonlar açısından mikroplastikler risk oluşturmaktadır. Mikroplastiklerin gelecekte deniz flora ve faunası üzerinde ne gibi etkilere yol açacağı günümüzde net olarak bilinmese de sucul ortamlarda mikroplastiklerin tespit edilip, mikroplastik kirliliğini azaltmaya yönelik önlemler alınması ekosistemin devamlılığı açısından kaçınılmazdır. Gerçekleştirilen bu tezden elde edilen sonuçlarla ülkemizde özellikle denizler ve sucul sistemler açısından yeni bir kirletici kaynağı olarak ortaya çıkan mikroplastik partikülleri hakkında bir farkındalık oluşturulmaya çalışılmıştır.

Marmara Denizi'nin doğu kısımlarında bulunan İstanbul ili, endüstriyel ve sanayi faaliyetlerinin yoğun olduğu, diğer yandan turizm açısından da oldukça ileri olan bir şehirdir. Geçmişten günümüze kadar pek çok antropojenik kaynaklı kirletici gerek İstanbul'dan Marmara Denizi'ne dökülen dereler vasıtasıyla gerekse de denizde direkt olarak kirliliğe sebep olmaktadır. Son yıllarda yürürlükte olan uygulamalarla atıksu deşarjlarında sıkı kontroller söz konusu olsa da denizdeki plastik kirliliği açısından bakıldığında tüm dünyada olduğu gibi Marmara Denizi de potansiyel risk altındadır. Türkiye'de 2018 yılında Tunçer ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada Marmara Denizi'ndeki yüzey sularında mikroplastiklerin tespiti, dağılımı ve kompozisyonu araştırılmıştır. Çalışma kapsamında Marmara Denizi'nin genelinden İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı da dahil olmak üzere toplam 40 farklı istasyondan tek zamanlı alınan numunelerde mikroplastik ekstraksiyonu yapılmıştır. İstanbul Boğazı'ndan 2 farklı noktadan yüzey suyu numuneleri alınmıştır. Seçilen istasyonlar arasında en fazla mikroplastik kirliliği Silivri istasyonunda elde edilirken, en az mikroplastik partikülü Karabiga ve Paşalimanı Ada'ları arasındaki istasyonda bulunmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar neticesinde Marmara Denizi'nin mikroplastik partikülleri ile kirlenmeye başladığı tespit edilmiştir.

Gürkan ve Yüksek [168] tarafından İzmit, Gemlik, Bandırma ve Erdek Koyları ile İstanbul Boğazı'nın kuzey girişi ve Çanakkale Boğazı'nın güney çıkışında Denizlerde Kirlilik İzleme Sistemi kapsamında mikroplastik kirlilikleri izlemek için numuneler alınmıştır. Yüzey suyu numuneleri, yaklaşık 3 km/s ile 10 dakika boyunca yatay olarak ve su kolonu numuneleri ise 10 m derinliklerden dikey çekme yöntemi kullanılarak toplanmıştır. Her istasyonda yüzey suyu ve su kolonu numuneleri 57 cm çapında ve 333 μm göz boyutunda bir Nansen tipi plankton ağı kullanılarak alınmıştır. Numuneler daha önce distile su ile yıkanmış cam numune şişelerine konulup etil alkol çözeltisi (%96) ilave edilerek (yaklaşık olarak nihai ~%50 alkol-deniz suyu solüsyonu elde edilerek) laboratuvar analizlerine kadar +4 °C'de saklanmıştır. Laboratuvar ortamında toplanan numunelerden mikroplastikleri tayin edebilmek için 26 μm boyutunda gözeneklere sahip plankton süzgeçleri (mesh) kullanılmış olup süzgeç üzerinde biriken organik maddeleri gidermek için ise %35 konsantrasyonunda Hidrojen

Peroksit çözeltisi kullanılmıştır. Daha sonra numune karakterizasyonlarının yapılabilmesi için steril petri kutularına alınarak Leica EZ4 stereo mikroskobunda incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, yüzey su numunelerinde Bandırma Körfezi'nden alınan numunelerde 0,17 ve 2,52 partikül/m^3 aralığında mikroplastik kirliliği tespit edilmiş olup, en yüksek konsantrasyon körfezin orta kısımlarında en az konsantrasyon ise körfezin dışında alınan istasyonlarda tespit edilmiştir. Gemlik ve Erdek Körfez'lerinde ise en düşük konsantrasyonlar tespit edilmiştir. Su kolonu numunelerinde ise Bandırma ve İzmit Körfezlerinde 4,12 partikül/m^3 ile 34,90 partikül/m^3 arasında değişen değerlerlerde en yüksek konsantrasyonlar tespit edilmiştir. Ayrıca Erdek Körfezi'nde 15,88 ile 6,86 partikül/m^3 arasında değişen yüksek miktarlarda mikroplastik kirliliği tespit edilmiştir. Yüzey su numunelerinde, %51,94 lifler, %28,82, fragment parçacıklar, %13,18 boya partikülleri , %3,60 levha, %2,14 köpük, %0,18 peletler ve %0,14 mikro boncuk yapılarındaki mikroplastikler tespit edilmiştir. Su kolonu numunelerinde ise %79,28, %6,29, %9,78, %1,1 ve %3.49 oranlarında sırasıyla lifler, fragment parçaçıklar, boya partikülleri köpükler ve levha türündeki mikroplastikler tespit edilmiştir. Genel olarak tüm istasyonlarda siyah ve mavi renkteki mikroplastikler baskın olarak tespit edilmiş olup, yüzey su numunelerinde %38 siyah ve %17,7 ise mavi renk tespit edilmiştir. Benzer şekilde su kolonu numunelerinde de %46 siyah ve %22,8 mavi renk tespit edilmiştir. Sonuç olarak Türk Boğazlar Sisteminden alınan hem yüzey hem de su kolonu numunelerinde toplam 0,3 mm ile 5 mm aralığında 3.052,00 adet mikroplastik tespit edilmiş olup her ne kadar kirlilik kaynaklarının belirlenmesi üzerinde durulmasa da, bu çalışmanın Türk Boğazlar Sisteminin potansiyel mikroplastik dağılımını ve kirlilik kapasitelerini belirlemede yardımcı olduğu düşünülmüştür [168].

3
MATERYAL-METOT

3.1 Marmara Denizi İstanbul Kıyılarından Mikroplastik Numunelerinin Alındığı İstasyonlar

Marmara Denizi'nin İstanbul'a kıyısı olan kesimlerinde ve İstanbul Boğaz'ında günümüzde pek çok su kaynağını tehdit eden mikroplastik kirliliğinin incelenmesini esas alan bu tez çalışmasında, numune alınması planlanan istasyonlar 5 farklı kategoride 46 adet olarak belirlenmiştir. Bu istasyonlar, İstanbul'da bulunan 9 adet marina (MRN), 8 adet deniz ulaşımı sağlanan şehir hatları ve İDO iskeleleri (PIER), 7 adet atıksu derin deniz deşarjı yapılan istasyon (DSD), 10 adet deniz deşarjı yapılan istasyon (SD), 9 adet denize dökülen derelerin çıkışı (STR), 3 adet diğer istasyonlardan (Haliç (EST), Karadeniz-Boğaz girişi (BS) ve Boğaz-Marmara Denizi çıkışı (MS) oluşmaktadır.

İki mevsim (sonbahar ve kış) deniz yüzey suyundan mikroplastik örneklemesi gerçekleştirilen bu yüksek lisans tez çalışmasında numune alınan noktaların kodları ve istasyon isimleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2-3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Tez kapsamında deniz yüzey suyu alınan istasyonların kodları ve açıklamaları

Kodlar	Açıklama 1	Açıklama 2
DSD	Deep Sea Discharge	Derin Deniz Deşarjı
SD	Sea Discharge	Deniz Deşarjı
MRN	Marine	Marina
STR	Stream	Akarsu
PIER	Pier	İskele
EST	Estuary	Haliç
MS	Marmara Sea	Marmara Denizi
BS	Black Sea	Karadeniz

Tablo 3.2 Çalışma kapsamında deniz yüzey suyu alınan istasyonlar

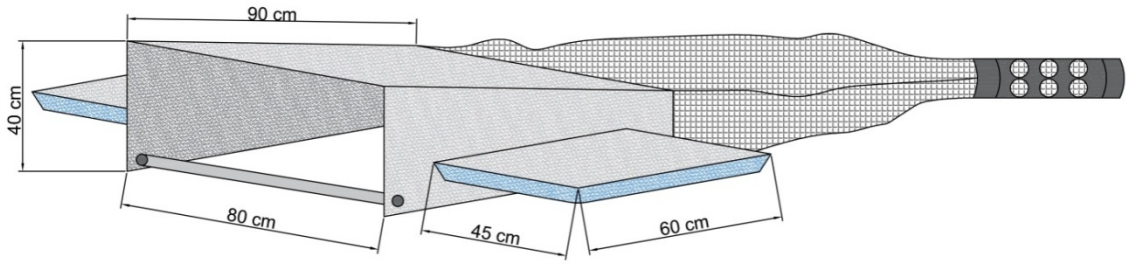
No	İstasyon kodu	Mevki
1	DSD 1	Ahırkapı (Yenikapı) Derin Deniz Deşarjı
2	DSD 2	Kadıköy Derin Deniz Deşarjı
3	DSD 3	Üsküdar Derin Deniz Deşarjı
4	DSD 4	Küçüksu Derin Deniz Deşarjı
5	DSD 5	Baltalimanı Derin Deniz Deşarjı
6	DSD 6	Paşabahçe Derin Deniz Deşarjı
7	DSD 7	Büyükçekmece Derin Deniz Deşarjı
8	SD 1	Tuzla Deniz Deşarjı (1.Kademe)
9	SD 2	Tuzla Deniz Deşarjı (2.Kademe)
10	SD 3	Büyükada Deniz Deşarjı
11	SD 4	Heybeliada Deniz Deşarjı
12	SD 5	Burgazada Deniz Deşarjı
13	SD 6	Kınalıada Deniz Deşarjı
14	SD 7	Küçükçekmece Deniz Deşarjı
15	SD 8	Silivri Deniz Deşarjı
16	SD 9	Silivri Deniz Deşarjı (1.Kademe)
17	SD 10	Çanta Deniz Deşarjı
18	MRN 1	Setur Kalamış Ve Fenerbahçe Marinaları
19	MRN 2	Marin Türk İstanbul City Port (Pendik)
20	MRN 3	Viaport Tuzla Marina
21	MRN 4	West İstanbul Marina (Beylikdüzü)
22	MRN 5	Güzelce Marina (Büyükçekmece)
23	MRN 6	Ataköy Marina/Bakırköy İdo İskelesi
24	MRN 7	İstmarin İstinye/Tarabya Tekne Park
25	MRN 8	Yeşilköy Balıkçı Barınağı
26	MRN 9	Garipçe-Rumeli Feneri
27	STR 1	Kuşdili Deresi
28	STR 2	Ayamama Deresi
29	STR 3	Ambarlı Deresi
30	STR 4	Haramidere
31	STR 5	Alibeyköy Deresi
32	STR 6	Kağıthane Deresi
33	STR 7	Küçüksu Deresi
34	STR 8	Göksu Deresi
35	STR 9	Çayırbaşı Deresi
36	PIER 1	Kadıköy İskelesi
37	PIER 2	Eminönü-Karaköy İskelesi
38	PIER 3	Üsküdar İskelesi
39	PIER 4	Beşiktaş İskelesi
40	PIER 5	Bostancı Deniz Otobüsü İskelesi

Tablo 3.2 Çalışma kapsamında deniz yüzey suyu alınan istasyonlar (devamı)

No	İstasyon kodu	Mevki
41	PIER 6	KınalıadaIskelesi
42	PIER 7	Büyükada İskelesi
43	PIER 8	Yenikapı Feribot İskelesi
44	MS	Boğaz-Marmara Denizi
45	BS	Karadeniz-Boğaz
46	EST	Haliç

DSD ve SD istasyonlarının net koordinat bilgileri İSKİ'den temin edilmiştir. Şekil 3.1'de ise numune alınan istasyonlar haritada (Google Earth) gösterilmiştir. Deniz yüzey suyundan mikroplastik numuneleri ağız açıklığı 80 x 40 cm olan manta net ile filtreleme yapılarak toplanmıştır (Şekil 3.2). Numunelerin alımında kullanılan İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi'ne ait R/V YUNUS-S Şekil 3.3'de verilmiştir.

Şekil 3.1 Tez kapsamında mikroplastik numunesi alınan istasyonların Google Earth'deki lokasyonları (MRN, PIER, STR, DSD, SD)



Şekil 3.2 Tasarlanan manta netin tasarım ölçüleri

Şekil 3.3 İstanbul Üniversitesi'ne aitR/V Yunus-S adlı Araştırma Gemisi

3.1.1 Mevsimsel Mikroplastik Numunelerinin Alınması

3.1.1.1 Sonbahar Numunelerinin Alınması

Sonbahar mevsiminde deniz yüzey suyundan mikroplastik numunelerinin alınabilmesi için 7-11 Eylül 2020 tarihleri arasında sefer düzenlenmiştir. Örneklemenin ilk gününde Kadıköy İskelesi (PIER-1) istasyonundan başlanarak Tuzla Marina'ya kadar (MRN-3) toplam 12 istasyondan manta net deniz yüzey suyu numuneleri alınmıştır (sırasıyla, PIER-1, STR-1-MRN-1, PIER-5, PIER-6, SD-6, SD-5, SD-4, PIER-7, SD-3, MRN-2, SD-1-SD-2, MRN-3) (Şekil 3.1). Deniz suyunun fiziko-kimyasal karakterizasyonu ise (pH, iletkenlik, tuzluluk,

çözünmüş oksijen (ÇO) vb.) İÜ Su Bilimleri Fakültesine ait CTD cihazı ile anlık olarak ölçülmüştür.

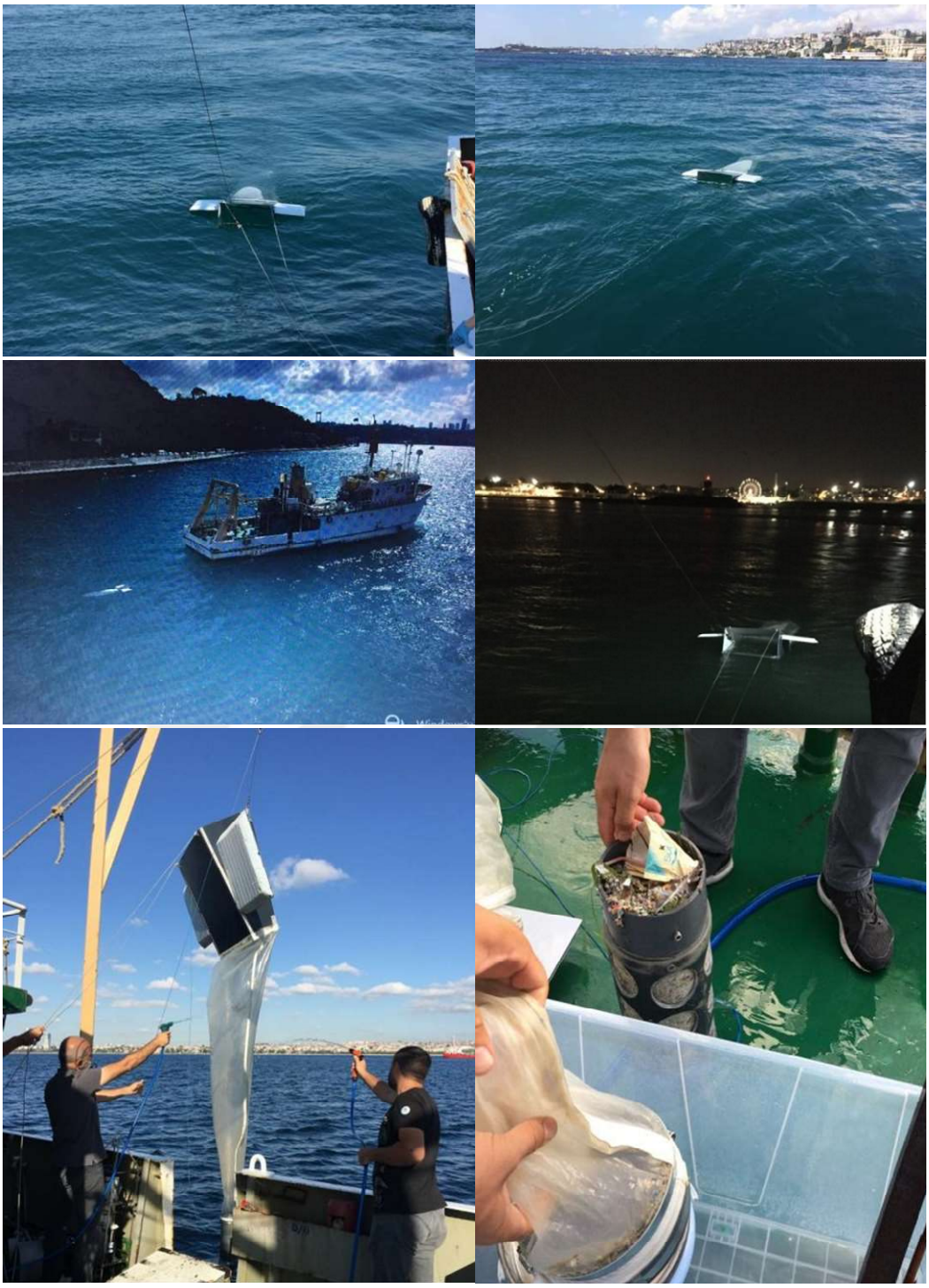
Sonbahar seferinin 2. gününde Boğaz hattında bulunan 12 istasyondan yüzey suyu numuneleri alınmıştır (Sırasıyla MRN-7, DSD-6, DSD-5, STR-8, DSD-4, STR-7, PIER-4, PIER-3, DSD-3, DSD-1, DSD-2 ve MS). Seferin 3. gününde ise Karadeniz-Boğaz numunelerinin alımı (MRN-9, STR-11, BS-3, STR-10) ve Boğaz hattındaki diğer numunelerin (STR-9) alımı gerçekleştirilmiştir. Bir önceki gün Şehir Hatları Vapurlarının trafik yoğunluğundan dolayı numune alımı gerçekleştirilemeyen Eminönü-Karaköy İskeleleri arasındaki istasyondan (PIER-2) Karadeniz dönüşünde numune alımı gerçekleştirilerek Boğaz hattı numune alımları tamamlanmıştır.

Seferin 4. gününde en uzun sürecek olan Yenikapı-Silivri hattındaki istasyonlardan mikroplastik örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Örneklemede sırasıyla PIER-8, MRN-6, STR-2, MRN-8, SD-7, STR-3, MRN-4, STR-4, MRN-5, DSD-7, SD-8, SD-9 ve SD-10 istasyonlarından (13 istasyon) numuneler alınmıştır.

Manta net yukarıda bahsi geçen istasyonlarda başlangıç koordinatlarından itibaren 20 dk boyunca çekilmiş ve bu süreçte gemi hızı 2 knot'un altında tutulmuştur. Bazı istasyonlarda deniz analarının istilası söz konusu olduğundan (örneğin MRN-2 ve MRN-3) manta net 10 dk civarında çekilebilmiştir. Boğazda akıntı hızı çok yüksek olduğundan yine bazı istasyonlarda gemi hızı çok düşük değerlerde tutularak akıntının etkisiyle manta netin çekilmesi sağlanmıştır. Manta net geminin sancak kısmından gemiden yaklaşık 2 m uzaklıkta çekilmiştir, böylece gemi dümen suyunun yüzey suyundaki mikroplastik dağılımlarını etkilemesinin önüne geçilmiştir. Yaklaşık 20 dk boyunca manta net ile yüzey suyunun filtrelenmesi sağlandıktan sonra manta net, vinç vasıtasıyla askıya alınmış ve naylon elek kısmı hortum ile dışarıdan iyice yıkanarak toplanan numunenin kollektör kısmında yoğunlaştırılması sağlanmıştır. Yıkama işlemi gemideki pompanın çektiği deniz suyuyla gerçekleştirilmiş olup hortum çıkışına 200 μm naylon elek monte edilerek olası mikroplastik kontaminasyon riskleri engellenmiştir. Numune alımı esnasında ve sonrasına ait görüntüler Şekil

3.4’de sunulmuştur. Sonbahar mevsiminde alınan numunelerde manta net kollektöründe toplanan numuneler ise Şekil 3.4’de verilmiştir. Şekil 3.5’de ise CTD cihazı ile ölçüme ait fotoğraflar verilmiştir.

Manta kollektöründe toplanan numuneler gemide 5 mm ve 0,3 mm gözenek boyutuna sahip metal eleklerden filtrelenmiş deniz suyu ile elendikten sonra, 5 mm üstü malzeme atılmıştır. 0,3-5 mm arası malzeme ise cam kavanozlara aktarılarak üzerine %70’lik etil alkol çözeltisi eklenmiş ve metal kavanoz kapakları ile kapatılarak sefer sonuna kadar gemide +4 °C’de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.4 Manta net ile alınan numunelerin filtrelenmesi ve manta net ağının yıkanması

Şekil 3.5 CTD ölçümleri ve akıntı hızı ölçümleri

Sonbahar döneminde numunelerin alımı esnasında her bir istasyondaki rüzgar yönü, rüzgar hızı, gemi hızı, akıntı hızı verileri Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3 Sonbahar seferinde numune alınan istasyonlardaki rüzgar yönü, rüzgar hızı, gemi hızı, akıntı hızı ve derinlik bilgileri

Numune Kodu	Başlangıç koordinatı		Bitiş koordinatı		İstasyon ile Alakalı Bilgiler			Gemi Hızı
	Enlem	Boylam	Enlem	Boylam	Rüzgar Hızı	Rüzgar	Derinlik	
	N	E	N	E	Knot	Yönü	m	Knot
DSD 1	41°00'032" N	28°59'491" E	40°59'974" N	28°59'471" E	3	NE	59	0,2
DSD 2	40°59'504" N	28°59'144" E	40°59'441" N	28°59'161" E	3	NE	55	0,2
DSD 3	41°01'673" N	29°00'640" E	41°01'882" N	29°00'779" E	1	NE	43	0,4 - 0,6
DSD 4	41°04'807" N	29°03'655" E	41°05'203" N	29°03'792" E	2	NE	71	0,8 - 1,2
DSD 5	41°05'734" N	29°03'434" E	40°16'258" N	29°03'509" E	2	NE	71	1,4 - 1,6
DSD 6	41°06'505" N	29°04'489" E	41°06'185" N	29°03'923" E	3	NE	68	2,2
DSD 7	40°58'023" N	28°32'046" E	40°57'977" N	28°31'841" E	5	NE	42	1,6
SD1 - SD2	40°50'139" N	29°15'118" E	40°50'169" N	29°14'498" E	2	NE	45	2,2
SD 3	40°51'894" N	29°09'595" E	40°51'561" N	29°08'923" E	2	NE	54	1,8
SD 4	40°51'682" N	29°04'974" E	40°51'087" N	29°05'060" E	1	MNE	55	1,9-2
SD 5	40°53'044" N	29°02'876" E	48°53'273" N	29°03'583" E	-	VRB	38	1,8
SD 6	40°53'665" N	29°02'884" E	40°53'670" N	29°03'635" E	1	SW	35	2,1
SD 7	40°57'935" N	28°45'675" E	40°57'554" N	28°45'062" E	2	NE	33	2-1,6

Tablo 3.3 Sonbahar seferinde numune alınan istasyonlardaki rüzgar yönü, rüzgar hızı, gemi hızı, akıntı hızı ve derinlik bilgileri (devamı)

Numune Kodu	Başlangıç koordinatı		Bitiş koordinatı		İstasyon ile Alakalı Bilgiler			Gemi Hızı
	Enlem	Boylam	Enlem	Boylam	Rüzgar Hızı	Rüzgar	Derinlik	
	N	E	N	E	Knot	Yönü	m	Knot
SD 8	41°02'411'' N	28°20'791" E	41°01'955" N	28°20'294" E	5	NE	38	1,9
SD 9	41°03'671'' N	28°14'410" E	41°04'003" N	28°13'820" E	3	NE	20	2
SD 10	41°02'708'' N	28°05'998" E	41°02'685" N	28°06'124" E	4	NE	22	1,9
MRN 1	40°58'621'' N	29°01'852" E	40°58'409" N	29°01'218" E	1	NE	5	1,7
MRN 2	40°51'884'' N	29°14'441" E	40°51'819" N	29°13'836" E	2	NE	14,3	1,4 - 2,2
MRN 3	40°48'696'' N	29°19'335" E	40°48'416" N	29°19'085" E	2	NE	14	-
MRN 4	40°57'464'' N	28°39'528" E	40°57'424" N	28°38'785" E	4	NE	20	1,8
MRN 5	41°00'780'' N	28°35'009" E	41°00'729" N	28°34'329" E	2	NE	5,5	1,5
MRN 6	40°58’377’’ N	28°52’894” E	40°57’728” N	28°52’494” E	2	NE	5	2,5 – 1,7
MRN 7	41°06’685’’ N	29°03’771” E	41°07’086” N	29°04’400” E	2	NE	31	2,1
MRN 8	40°57’221’’ N	28°49’546” E	40°57’047” N	28°48’863” E	2	NE	6,8	2
MRN 9	41°13’599’’ N	29°06’917” E	41°13’019” N	29°06’769” E	5	NE	12	2,6
STR 1	40°58’621’’ N	29°01’852” E	40°58’409” N	29°01’218” E	1	NE	5	1,7
STR 2	40°57’986’’ N	28°51’380” E	40°57’497” N	28°51’046” E	2	NE	5	2,4-1,7
STR 3	40°57’795’’ N	28°41’328” E	40°57’271” N	28°41’233” E	4	NE	20	1
STR 4	40°57’260’’ N	28°37’244” E	40°57’428” N	28°36’455” E	2	NE	14	1,4
STR 5	41°03’52” N	28°56’38”E	41°03’34” N	28°56’48”E	-	-	-	-
STR 6	41°03’49” N	28°56’50”E	41°03’30” N	28°56’50”E	-	-	-	-
STR 7	41°04’680’’ N	29°03’748” E	41°05’171” N	29°03’865” E	1	NE	43	0,9 1,3-1,6
STR 8	41°04’930’’ N	29°03’839” E	41°05’446” N	29°03’827” E	2	NE	29	0,7
STR 9	41°09’351’’ N	29°02’440” E	41°09’001” N	29°03’072” E	5	NE	12	2
PIER 1	40°59’395’’ N	29°0057”E	40°58’934” N	29°00’737” E	1	NE	15	2
PIER 2	41°01’186’’ N	28°58687” E	41°01’215” N	28°59’235” E	4	NE	37	2,6
PIER 3	41°01’679’’ N	29°00807” E	41°01’865” N	29°00’974” E	1	NE	30	1

Tablo 3.3 Sonbahar seferinde numune alınan istasyonlardaki rüzgar yönü, rüzgar hızı, gemi hızı, akıntı hızı ve derinlik bilgileri (devamı)

Numune Kodu	Başlangıç koordinatı		Bitiş koordinatı		İstasyon ile Alakalı Bilgiler			Gemi Hızı
	Enlem	Boylam	Enlem	Boylam	Rüzgar Hızı	Rüzgar	Derinlik	
	N	E	N	E	Knot	Yönü	m	Knot
PIER 6	40°54’068” N	29°04334” E	40°53’734” N	29°04’295” E	2	SW	25	1,9
PIER 7	40°52’630” N	29°07562” E	40°53’058” N	29°07’104” E	2	NE	3	1,9
PIER 8	40°59’925” N	28°57831” E	40°59’451” N	28°57’358” E	2	NE	17	2
MS	40°58’867” N	28°59147” E	40°58’850” N	28°59’156” E	3	NE	45	0,1
BS	41°13’680” N	29°07708” E	41°12’932” N	29°07’147” E	5	NE	39	2,9

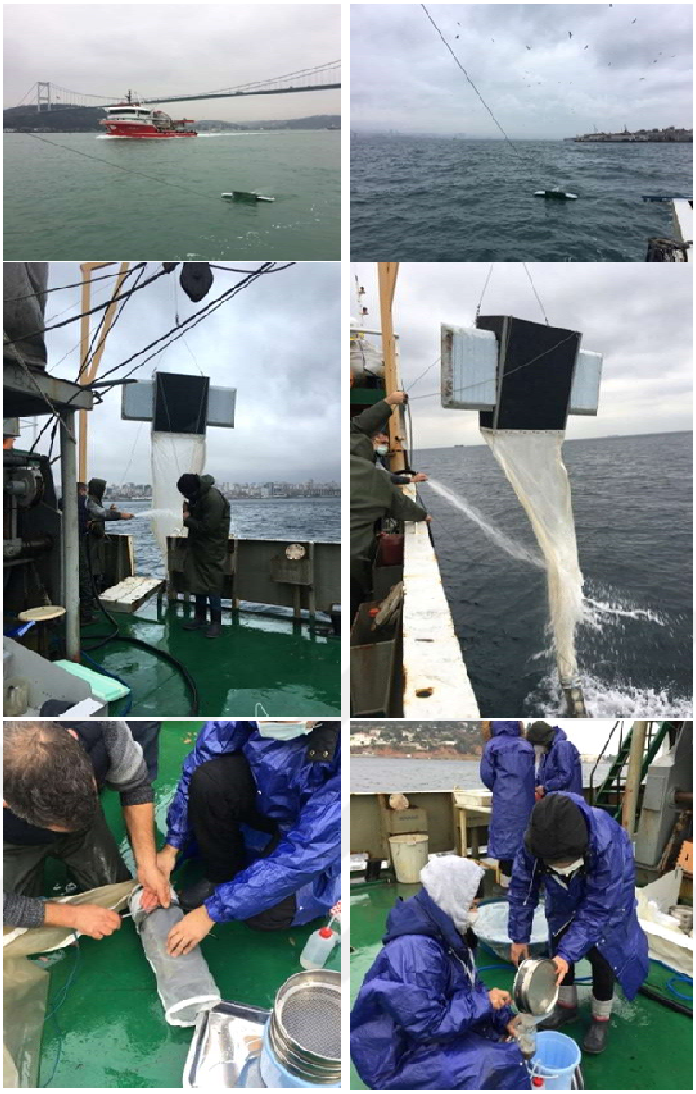
R/V YUNUS-S gemisiyle Haliç’e girilemediği için Alibeyköy Deresi (STR-5), Kağıthane Deresi (STR-6) ve Haliç’i temsil eden EST numuneleri 7-11 Eylül 2020 tarihlerinde alınamamıştır. STR-5, STR-6 ve EST numuneleri 25 Eylül 2020 tarihinde İSTAÇ A.Ş. Sonbahar mevsimi Haliç numunelerinin alımına ait görseller Şekil 3.6’da verilmiştir.

Şekil 3.6 Sonbahar dönemi Haliç’teki istasyonlardan deniz yüzey suyu ve sediment numunelerinin alınması

3.1.1.2 Kış Numunelerinin Alınması

Kış dönemini temsil edecek numuneler 2020 yılının son ayında Covid-19 pandemisinin en yoğun olduğu döneme denk gelmiştir. Gerek salgının yayılmasını önlemeye yönelik alınan tedbir ve önlemler, gerek hava şartlarının zorluğu engel teşkil etse de, 3 ay aralıklarla numunelerin alımının sağlanması

için 14-17 Aralık 2020 tarihleri arasında kış seferi gerçekleştirilmiştir. Kış seferinin ilk günü sonbahar seferine paralel olarak Kadıköy-Tuzla hattı ve adalar numuneleri alınmıştır. Seferin 2. gününde ise Boğaz numuneleri STR-7 istasyonundan itibaren alınmaya başlayarak BS ve MRN-9 istasyonlarına doğru yönelinmiştir. BS ve MRN-9 numuneleri alındıktan sonra, aynı gün PIER-4, PIER-3, DSD-3, PIER-2, DSD-1, DSD-2 ve MS numuneleri alınarak Boğaz hattından numune alımları bir günde tamamlanmıştır. Seferin 3. günü ise Yenikapı-Silivri hattından numuneler toplanmış ve kış dönemini temsil edecek tüm numuneler alınmıştır. Kış dönemi yüzey suyu numuneleme işlemlerine ait görseller Şekil 3.7'de verilmiştir. Haliç'te bulunan SRT-5, STR-6 ve EST istasyonlarından manta net ile yüzey su numuneleri İSTAÇ A.Ş. deniz yüzeyi temizleme teknesi ile alınmıştır (Şekil 3.8). Tablo 3.4'de Aralık-2020 seferi istasyonlardaki rüzgar yönü, rüzgar hızı, gemi hızı, akıntı hızı ve derinlik bilgileri verilmiştir.



Şekil 3.7 Kış mevsimi deniz yüzey suyu numunelerinin alınması

Şekil 3.8 Kış mevsimi Haliç'ten deniz yüzey suyu ve sediment numunelerinin alınması

Tablo 3.4 Aralık-2020 seferi istasyonlardaki rüzgar yönü, rüzgar hızı, gemi hızı, akıntı hızı ve derinlik bilgileri

Numune Kodu	Başlangıç		Bitiş		İstasyon ile Alakalı Bilgiler				
	Enlem	Boylam	Enlem	Boylam	Rüzgar hızı	Rüzgar Yönü	Derinlik	Gemi Hızı	Akıntı Hızı
	N	E	N	E	(Knot)		m	(Knot)	(Knot)
DSD 1	41°00'111"	028°59'524"	41°00'128"	028°59'528"	3	N	59	0,1	4
DSD 2	40°59'556"	028°59'204"	40°59'360"	028°59'583"	3	N	55	1,1	4
DSD 3	41°01'698"	029°00'666"	41°01'694"	029°00'672"	3	N	43	0,1	4
DSD 4	41°04'796"	029°03'673"	41°04'992"	029°03'854"	3	N	70	1,2	3
DSD 5	41°05'751"	029°03'389"	41°05'983"	029°03'422"	3	N	68	1,5	3
DSD 6	41°06'538"	029°04'690"	41°06'699"	029°04'935"	2	N	69	1,4	2
DSD 7	40°58'113"	028°31'970"	40°58'327"	028°31'720"	5	NNW	39	1,5	1
SD1-SD2	40°49'808"	029°15'181"	40°50'117"	029°15'104"	5	NNW	44	1,5	1
SD 3	40°51'822"	029°09'542"	40°51'834"	029°09'855"	5	NNW	55	1,5	2
SD 4	40°51'892"	029°04'875"	40°51'505"	029°04'868"	5	NNE	50	1,5	2
SD 5	40°52'985"	029°02'778"	40°52'905"	029°02'347"	11	NNE	40	1,5	2
SD 6	40°53'592"	029°02'763"	40°53'233"	029°02'555"	11	NNE	35	1,6	2
SD 7	40°57'992"	028°45'715"	40°57'938"	028°45'205"	3	NNW	30	1,5	1
SD 8	41°02'423"	028°20'760"	41°02'488"	028°20'311"	5	NNW	34	1,5	1
SD 9	41°03'688"	028°14'443"	41°03'846"	028°14'246"	5	NNW	21	1,5	1
SD 10	41°02'696"	028°05'926"	41°02'667"	028°06'088"	5	NNW	21	1,5	1
MRN 1	40°58'260"	029°01'525"	40°57'828"	029°01'513"	9	NNE	8	1,5	2
MRN 2	40°51'941"	029°14'748"	40°51'569"	029°14'904"	5	NNW	9	1,5	1
MRN 3	40°48'678"	029°19'279"	40°48'583"	029°18'809"	3	NNW	14	1,5	1
MRN 4	40°57'530"	028°39'556"	40°57'498"	028°39'114"	3	NNW	11	1,5	1
MRN 5	41°00'814"	028°35'065"	41°00'538"	028°34'799"	5	NNW	6	1,5	1
MRN 6	40°58'343"	028°52'828"	40°57'981"	028°52'587"	3	N	5	1,6	1
MRN 7	41°06'694"	029°03'631"	41°06'796"	029°03'906"	3	N	26	1,2	3

Tablo 3.4 Aralık-2020 seferi istasyonlardaki rüzgar yönü, rüzgar hızı, gemi hızı, akıntı hızı ve derinlik bilgileri (devamı)

Numune Kodu	Başlangıç		Bitiş		İstasyon ile Alakalı Bilgiler				
	Enlem	Boylam	Enlem	Boylam	Rüzgar hızı	Rüzgar Yönü	Derinlik	Gemi Hızı	Akıntı Hızı
	N	E	N	E	(Knot)		m	(Knot)	(Knot)
STR 1	40°58'605"	029°01'793"	40°58'262"	029°01'550"	7	NNE	5	1,5	1
STR 2	40°58'007"	028°51'379"	40°57'682"	028°51'157"	3	N	5	1,5	1
STR 3	40°57'855"	028°41'288"	40°57'854"	028°41'434"	3	NNW	13	1,5	1
STR 4	40°57'322"	028°37'239"	40°57'303"	028°36'784"	3	NNW	11	1,5	1
STR 5	41° 03.885'	28° 56.635'	41° 03.783'	28° 56.750'	-	-	-	-	-
STR 6	41° 03.850'	28° 56.850'	41° 03.767'	28° 56.833'	-	-	-	-	-
STR 7	41°04'650"	029°03'801"	41°04'898"	029°03'773"	3	N	25	1,1	3
STR 8	41°04'924"	029°03'804"	41°05'002"	029°03'901"	3	N	42	1,2	3
STR 9	41°09'314"	029°02'290"	41°09'392"	029°02'569"	2	N	18	1,2	2
PIER 1	40°59'644"	029°01'245"	40°59'638"	029°00'706"	10	NE	4	1,5	2
PIER 2	41°01'226"	028°58'505"	41°01'254"	028°58'841"	3	N	38	1,3	1
PIER 4	41°02'389"	029°00'420"	41°02'207"	029°00'156"	3	N	27	1,3	2
PIER 5	40°56'793"	029°05'801"	40°56'611"	029°05'445"	10	NNE	6	1,5	2
PIER 6	40°54'064"	029°04'345"	40°53'732"	029°04'231"	10	NNE	25	1,5	2
PIER 7	40°52'624"	029°07'550"	40°52'628"	029°07'628"	9	NNW	3	1,5	2
PIER 8	40°59'992"	028°57'790"	40°59'747"	028°57'276"	3	N	16	1,5	1
MS1	40°58'936"	028°54'160"	40°59'398"	028°59'115"	3	N	49	0,2	4
BS1	41°13'789"	029°07'859"	41°13'781"	029°08'069"	4	N	50	1,2	3
EST 1	41° 02.500'	28° 56.801'	41° 02.011'	28° 57.348'	-	-	-	-	-

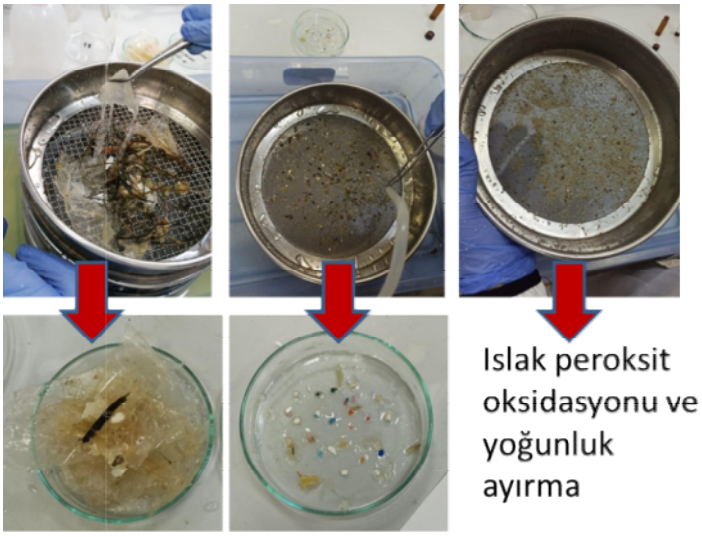
3.1.2 Deniz Yüzey Suyu Numunelerinde Mikroplastik İzolasyon Karakterizasyon Çalışmaları

Deniz yüzey suyu numunelerinden mikroplastiklerin izolasyonunda su numunelerinde askıda halde bulunan ve yüzey netleriyle toplanan plastik döküntülerin analizi için NOAA tarafından önerilen metot takip edilmiştir [21]. Plastikler, sert plastikleri, yumuşak plastikleri (örneğin köpük gibi), filmleri, olta çubuklarını, fibreleri ve levhaları içermektedir. 0,3mm manta net ile alınan yüzey suyu numunelerinin 5mm ve/veya 0,3 mm elekler kullanılarak numunelerde bulunan katı maddeler uygun boyutlarda izole edilmiştir. İzolasyon çalışmalarında uygulanan yöntemlere ilişkin detaylar aşağıda verilmiştir.

3.1.2.1 Islak Eleme

Yüzey suyundan alınan numuneler gözenek boyutu 5 mm, 1 mmve 0,3 mm paslanmaz çelik eleklerden geçirilmiş ve distile su kullanılarak tüm katı maddelerin eleklere geçmesi sağlanmıştır. Bu aşamada numunelerdeki tuz kalıntıları da giderilmiştir. Distile su ile yıkama işlemi gerektiği kadar tekrarlanmış ve ardından elekler distile su kullanılarak yıkanmıştır. Tüm maddelerin iyice yıkandığından ve ayrıldığından emin olunduktan sonra, elek üstünde kalan gözenek boyutu 5 mm'den büyük olan maddeler atılmış, 1 mm elek üstünden kalan ve boyutları 1-5 mm arasında olan mikroplastikler pens yardımıyla alınarak cam petri kaplarına aktarılmıştır. 0.3 mm elek üstünde kalan malzemeler ise 500 mL'lik beherlere aktarılmıştır (Şekil 3.9).

Şekil 3.9 Yüzey su numunelerinden manta net ile alınan materyalin ıslak eleme aşaması



Şekil 3.9 Yüzey su numunelerinden manta net ile alınan materyalin ıslak eleme aşaması (devamı)

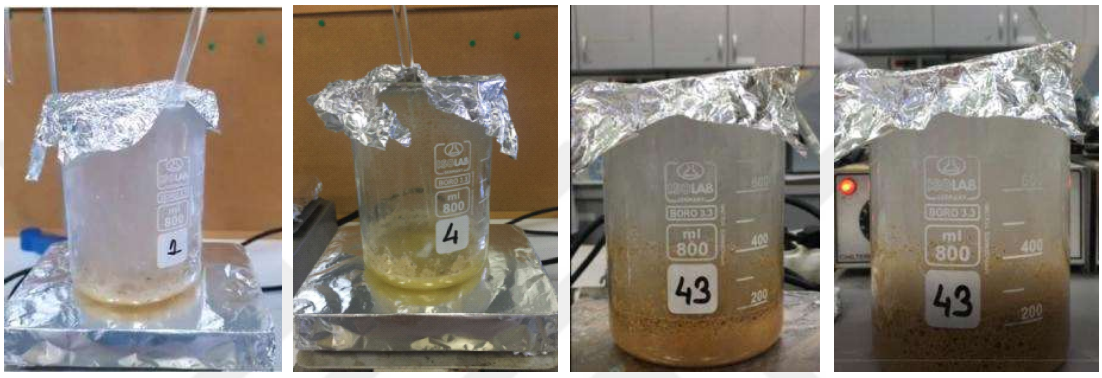
3.1.2.2 Elenmiş Katıların Transferi

Bu aşamada temiz ve kuru 500 mL'lik bir beherin içine 0,3 mm gözenek boyutlu elekte kalan katıların tamamı spatula yardımıyla ve çok az distile su ile yıkanarak aktarılmıştır. Tüm katıların behere transfer edildiğinden emin olunduktan sonra, beher 80°C'de etüvde 24 saat veya numuneler tamamen kuruyuncaya kadar bekletilmiştir.

3.1.2.3 Islak Peroksit Oksidasyonu

Beherde suyu tamamen giderilen 0.3 mm elek üstü malzemelere sulu 0,05 M Fe(II) çözeltisinden ($FeSO_4.7H_2O$ kullanılarak hazırlanmış) eklenmiş ve ardından 20 mL %30'luk hidrojen peroksit (H_2O_2) ilave edilmiştir. Karışım oda sıcaklığında manyetik karıştırıcı kullanılarak 5 dk karıştırılmıştır. Behere karıştırma çubuğu konularak ve üzeri saat camı ile kapatılarak ısıtıcıda 75 °C'de ısıtılmıştır (Şekil 3.9). Yüzeyinde gaz balonları görülür görülmez beher ısıtıcıdan alınarak soğuyuncaya kadar çeker ocakta bekletilmiştir. Beherde reaksiyon dolayısıyla taşma gözlenirse distile su eklenerek reaksiyon yavaşlatılmıştır. Ardından beher 75 °C'de 30 dk daha bekletilmiş ve organik materyaller hâlâ görülüyorsa 20 mL daha %30'luk H_2O_2 çözeltisi ilave edilmiştir. Bu işleme doğal organik maddelerin tamamı giderilinceye kadar devam edilmiş ve ardından her 20 mL numune başına yaklaşık 6 gram NaCl tuzu eklenerek numunenin yoğunluğu arttırılmış (5

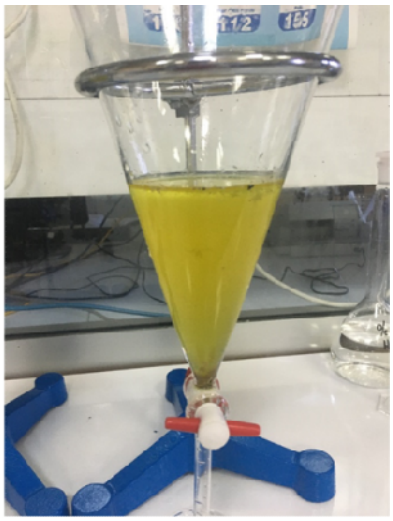
M NaCl) ve sonrasında tuzların tamamı çözününceye kadar 75 °C'de ısıtılmıştır. Ancak NOAA (2015) tarafından geliştirilen bu yöntemde eklenen NaCl tuzunun yeterli süre beklenmesine rağmen beherde hiç çözünmediği fark edilmiş ve bu aşamada oksidasyon sonrası beherdeki malzeme 0.3 mm gözenek boyutuna sahip naylon elekten süzülmüş ve elek üstünde kalan malzeme ayırma hunisine 5 M konsantrasyonunda sıvı NaCl çözeltisi kullanılarak aktarılmıştır. Böylece kimyasal oksidasyon sonrası katı halde eklenen tuzun çözünmeme problemi elimine edilmiştir.



Şekil 3.10 Kurutulan 0,3 mm elek üstü malzemenin ıslak peroksit oksidasyon işlemi

3.1.2.4 Yoğunluk Farkı ile Ayırma

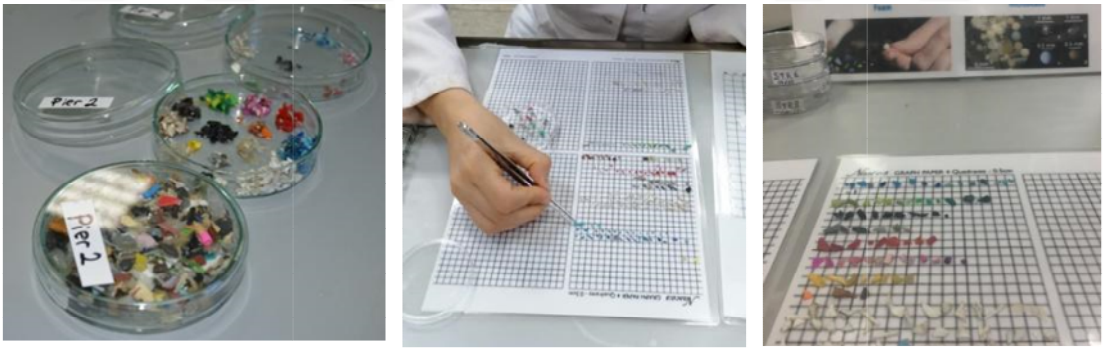
Islak peroksit oksidasyonu uygulanan ve yoğunluğu arttırılan numune yoğunluk farkıyla ayrım sağlanması için ayırma hunisine aktarılmış, beherde kalan kalıntıların 0,5 M NaCl çözeltisi ile yıkanarak ayırma hunisine aktarılması sağlanmıştır. Ardından ayırma hunisinin üstü alüminyum folyo ile kapatılmış bir gece boyunca çökelmeye bırakılmıştır. Çökelen kısımda hiç mikroplastik partikülü kalmamasına dikkat edilmiş ve eğer partikül görünüyorsa çökelen katılar musluk açılarak ayrılmış ve mikroplastikler pens kullanılarak alınmıştır. Yeterli yoğunluk farkı gözlendikten sonra çökelen katı kısım separatörden alınmış ve atılmıştır. Flotasyona uğramış katılar ise temiz, gözenek boyutu 0,45 μm olan cam-fibre filtre kağıdına süzülmüştür. Ardından filtre kağıdı cam petri kabına aktarılarak mikroskobik gözlem için saklanmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Mikroplastiklerin yoğunluk farkı ile ayrılması

3.1.2.5 Quadrat Kağıdı ile 1-5 mm Arası Mikroplastiklerin Renk ve Sayılarının Tespit Edilmesi

1 mm paslanmaz çelik elek üstü malzemeden izole edilen ve petri kaplarına aktarılan mikroplastikler 5 mm'lik quadrat kağıtları üzerinde sayılmış ve renk ve plastik alt türleri (fragment, köpük, fibre, pellet/granül, film) belirlenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Boyutu 1-5 mm arası mikroplastiklerin sayımı ve renk ve tür dağılımlarının belirlenmesi

3.1.2.6 Mikroskopta Mikroplastiklerin İzlenmesi

Filtre kağıtları üzerinde tutulan 0,3-1mm boyutundaki mikroplastikler dijital kameraya bağlı (ToupTek: 1080HP) optik mikroskopta (Olynmpus, CX23) incelenmiştir. Mikroskopta 10 ve 40 kat büyütme ile gözlem yapılarak mikroplastik partiküllerinin sayısı, türü, partikül uzunluğu, partikül rengi gibi nicel ve nitel özellikleri belirlenmiştir (Şekil 3.13).

Şekil 3.13 Filtre kağıtlarının mikroskopta görsel analizi

3.1.2.7 FTIR Spektroskopisi ile Mikroplastiklerin Kimyasal Karakterizayonlarının Tespit Edilmesi

Mikroplastiklerin polimerik kompozisyonunun belirlenmesi için yaygın olarak FTIR analizi kullanılmaktadır. FTIR ile bilinmeyen mikroplastiklerin IR spektrumu, IR spektrumu bilinen polimerler ile karşılaştırılarak belirlenmektedir. FT-IR spektroskopisi kullanımı son zamanlarda artmıştır ve FTIR transmitans veya reklektans modunda azaltılmış toplam reflektans (ATR: attenuated total reflectance) spektrasının toplanmasına izin vermektedir. FTIR analizi eş zamanlı gözlem ve haritalama ve spektra toplanmasını sağlamaktadır. Diğer analitik teknikler piroliz-gaz kromatografi-kütle spektrometrisi (Pyr-GC-MS), Raman spektroskopisi, SEM-EDS ve ESEM-EDS'dir.SEM-EDS ile mikroplastiklerdeki inorganik katkı maddelerinin varlığı (Örneğin Al, Ti, Ba, S, O, Zn, ve C, TiO_2-nanopartikülleri) tespit edilebilmektedir [3], [8], [39].

Bu tez çalışması kapsamında denizden toplanan numunelerde mikroplastik izolasyonları yapıldıktan sonra seçilen 500 adet plastik partiküllerin (boyut aralığı 0,5-5 mm) IR spektrumlarına göre kimyasal olarak tanımlanmaları için FTIR analizleri gerçekleştirilmiştir.

4
BULGULAR

4.1 Deniz Yüzey Suyunda Mevsimsel Mikroplastik Dağılımları

Bu tez çalışması kapsamında Marmara Denizi İstanbul kıyılarında 5 farklı kategoride seçilen toplam 46 istasyondan manta net ile alınan deniz yüzey suyu numunelerinden laboratuvarda izole edilen MP konsantrasyonları ve türleri bu başlık altında değerlendirilmiştir. MP konsantrasyonları taranan kilometrekare başına verilmiş olup, MP boyutları 0,3-1 mm ve 1-5 mm arası olmak üzere iki farklı boyut aralığında kategorize edilmiştir. Çalışma kapsamında izole edilen MP'ler, fragment (düzensiz şekilli partiküller), film (düz-levha, sheet), filament (fibre), köpük (foam) ve granül (pelet) olmak üzere 5 farklı MP tür kategorisinde sınıflandırılmıştır. MP renk dağılımları ise beyaz-şeffaf, siyah, mavi, kırmızı, yeşil ve diğer renkler olmak üzere sınıflandırılmıştır. Diğer renk kategorisinde turuncu, mor, pembe, gri, kahverengi, sarı olmak üzere diğer renkler bulunmaktadır.

4.1.1 Marinalarda (MRN) Mikroplastik Dağılımları

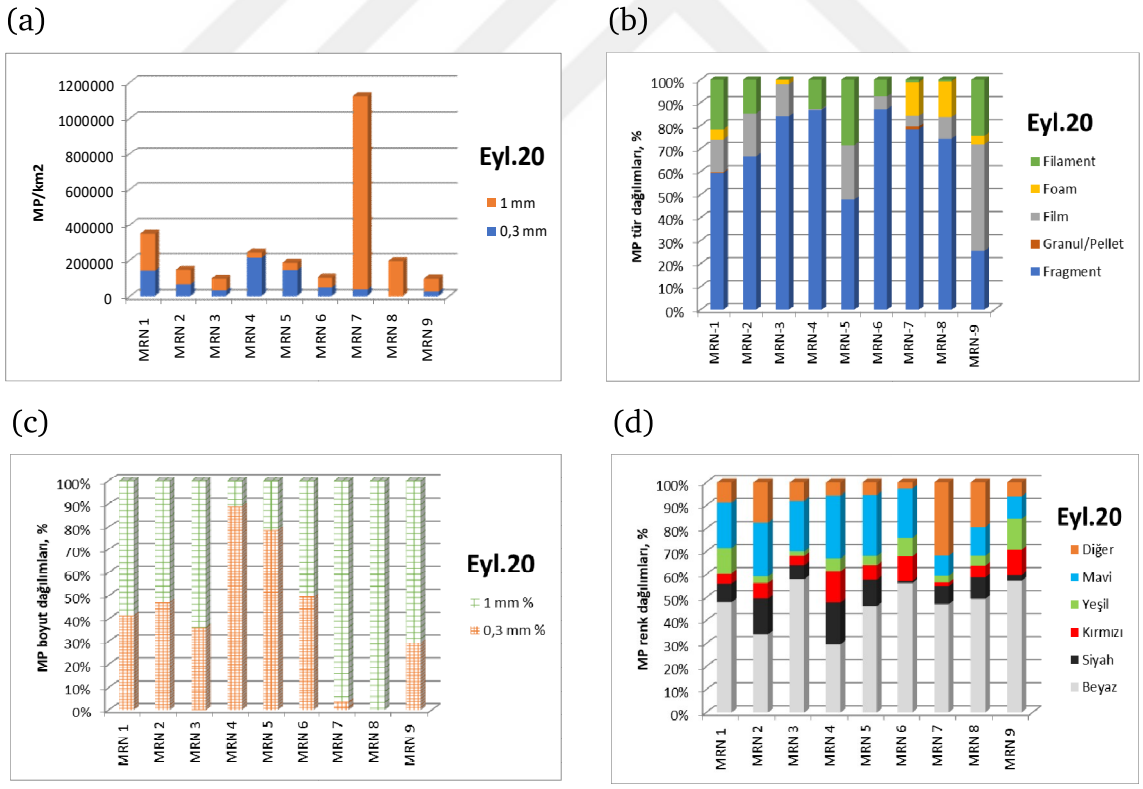
Marina istasyonlarında sonbahar ve kış numunelerine ait mikroplastik bollukları, türleri, boyut dağılımları ve renk dağılımları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.1-a'da sonbahar mevsiminde 9 adet MRN istasyonunda tespit edilen mikroplastik bollukları görülmektedir. Sonbahar mevsiminde en yüksek mikroplastik konsantrasyonu 1.125.140 MP/km^2 olarak MRN-7 (İst-Marine İstinye/Tarabya Tekne Park) istasyonunda bulunmuştur. Sonbahar mevsiminde en düşük mikroplastik konsantrasyonları ise MRN-3 (Viaport/Tuzla Marina) ve MRN-9 (Garipçe Tekne Limanı) istasyonlarında tespit edilmiş olup sırasıyla 100.050 ve 100.120 MP/km^2 bulunmuştur. Diğer MRN istasyonlarında ise 105.500-350.050 MP/km^2 arasında tespit edilmiştir. Şekil 4.2-a'da ise kış mevsimine ait MRN istasyonlarından izole edilen MP konsantrasyonları görülmektedir. Kış mevsiminde en yüksek MP değerleri MRN-9, MRN-6 (Ataköy

Marina-Bakırköy İDO iskelesi) ve MRN-7 istasyonlarında tespit edilmiş olup sırasıyla 247.500, 241.600 ve 241.900 MP/km^2 bulunmuştur. En düşük MP konsantrasyonu ise MRN-1 istasyonunda tespit edilmiştir (50.020 MP/km^2). Diğer MRN istasyonlarında ise 146.150 ile 194.000 MP/km^2 değerleri arasında bulunmuştur. Elde edilen bulgular, MRN-7 istasyonunda tüm mevsimlerde yüksek MP bolluğunun olduğunu göstermektedir. Bilindiği gibi MRN-7 istasyonu, İstanbul Boğazı'nda bulunan tek marina olup, insan sirkülasyonunun en yüksek olduğu lokasyonlardan biridir.

Şekil 4.1-b ve Şekil 4.2-b'de sonbahar ve kış mevsimlerinde MRN istasyonlarında tespit edilen mikroplastiklerin tür dağılımları verilmiştir. Tüm MRN istasyonlarında en baskın MP türlerinin sırasıyla fragment, film ve filament türleri olduğu görülmektedir. Sonbahar mevsiminde tüm istasyonlarda en baskın tür fragment bulunmuş olup, 5 istasyonda %70 oranından daha yüksek tespit edilmiştir (MRN-3, MRN-4, MRN-6, MRN-7 ve MRN-8). MRN-5 ve MRN-9 istasyonlarında ise %46 ve %26 oranlarında fragment türüne rastlanmıştır. Tüm istasyonlarda ortalama fragment oranı ise %68±20,6 bulunmuştur. İkinci en yaygın mikroplastik türü ise film olup tüm istasyonlarda ortalama %15,2±13,75 değerinde tespit edilmiştir. Film MP türüne en fazla MRN-9 (%46,3), MRN-5 (%23,6) ve MRN-2 (%18,6) istasyonlarında rastlandığı Şekil 4.1-b'den görülmektedir. Filament türü MP'lere ise en fazla MRN-5 (%28,5), MRN-9 (%24,4) ve MRN-1 (%21,6) istasyonlarında rastlanmıştır ve tüm istasyonlarda ortalama %12,32±10,83 oranında bulunmuştur. Köpük ve granül/pellet türü MP'lerin oranları ise sırasıyla %4,49±6,28 ve %0,17±0,39 oranlarında bulunmuştur. Şekil 4.2-b'den görüldüğü üzere, kış mevsiminde MRN istasyonlarında en bol MP türü fragment tespit edilirken (%52,1±19,9), fragment türlerini sırasıyla filament (%21,4±18,0), film (%19,6±11,4), köpük (%16,3±13,05) ve granül/pellet (%4,06±4,5) türleri takip etmiştir. En fazla fragment türü MP ise MRN-6 (%82,1) istasyonunda bulunurken, en az fragment türü MRN-5 istasyonunda (%20.3) tespit edilmiştir. Diğer yandan en fazla film türü MP'ye MRN-7 istasyonunda rastlanırken (%42,17), en az film türü MP'ye MRN-6 (%5,52) ve MRN-2 (%7,55) istasyonlarında rastlanmıştır. Kış mevsiminde filament türü MP'ler ise en fazla MRN-5 (%63,5) ve MRN-1 (%34,4)

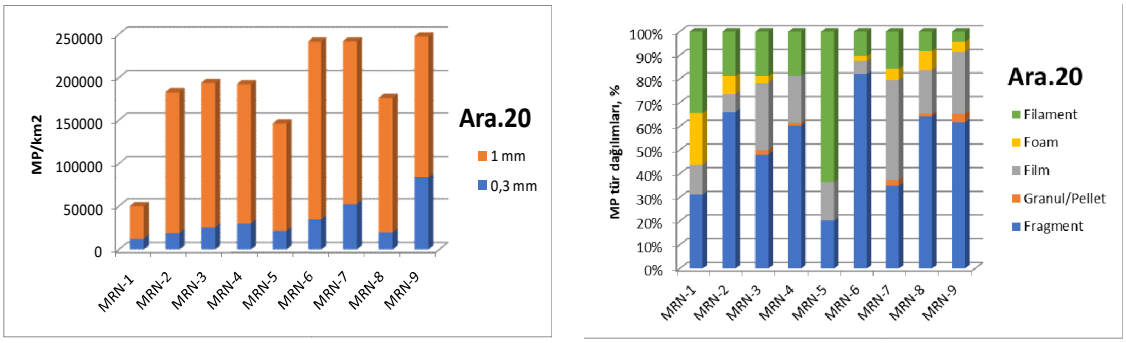
istasyonlarında bulunurken, en az MRN-9 (%4,35) ve MRN-8 (%8,2) istasyonlarında gözlenmiştir. Köpük türü MP'ler sonbahar mevsimine kıyasla kış mevsiminde ortalama 4 kat daha fazla tespit edilirken, en fazla köpük türü MP'ye MRN-1 (%35) ve MRN-7 (%33,4) istasyonlarında rastlanmıştır. MRN-4 ve MRN-5 istasyonlarında köpük türü MP hiç bulunmazken, en düşük MRN-6 (%6,1) istasyonunda gözlenmiştir. Granül/pellet türü MP'ler ise kış mevsiminde sonbahar mevsimine göre ortalama 25 kat daha fazla bulunmuştur ve en fazla granül/pellet türü MP'ye MRN-9 istasyonunda rastlanmıştır.

Şekil 4.1-c ve Şekil 4.2-c'den görüleceği üzere, iki farklı mevsimde alınan deniz yüzey suyu numunelerinden izole edilen MP boyut dağılımlarında genellikle 1-5 mm arası mikroplastikler yoğun bulunmuştur. Daha önce de açıklandığı gibi, 1-5 mm arası mikroplastikler 0,5×0,5 cm'lik quadrant kağıtları üzerinde görsel olarak sayılmıştır. 0.3-1 mm arası MP'ler ise mikroskopta sayılarak boyutları ve türleri tespit edilmiştir.

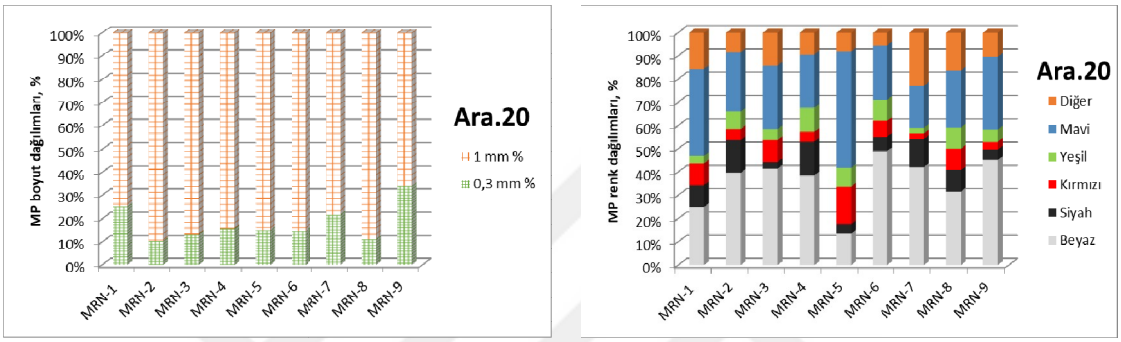


Şekil 4.1 Eylül 2020'de marina istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

(a) (b)



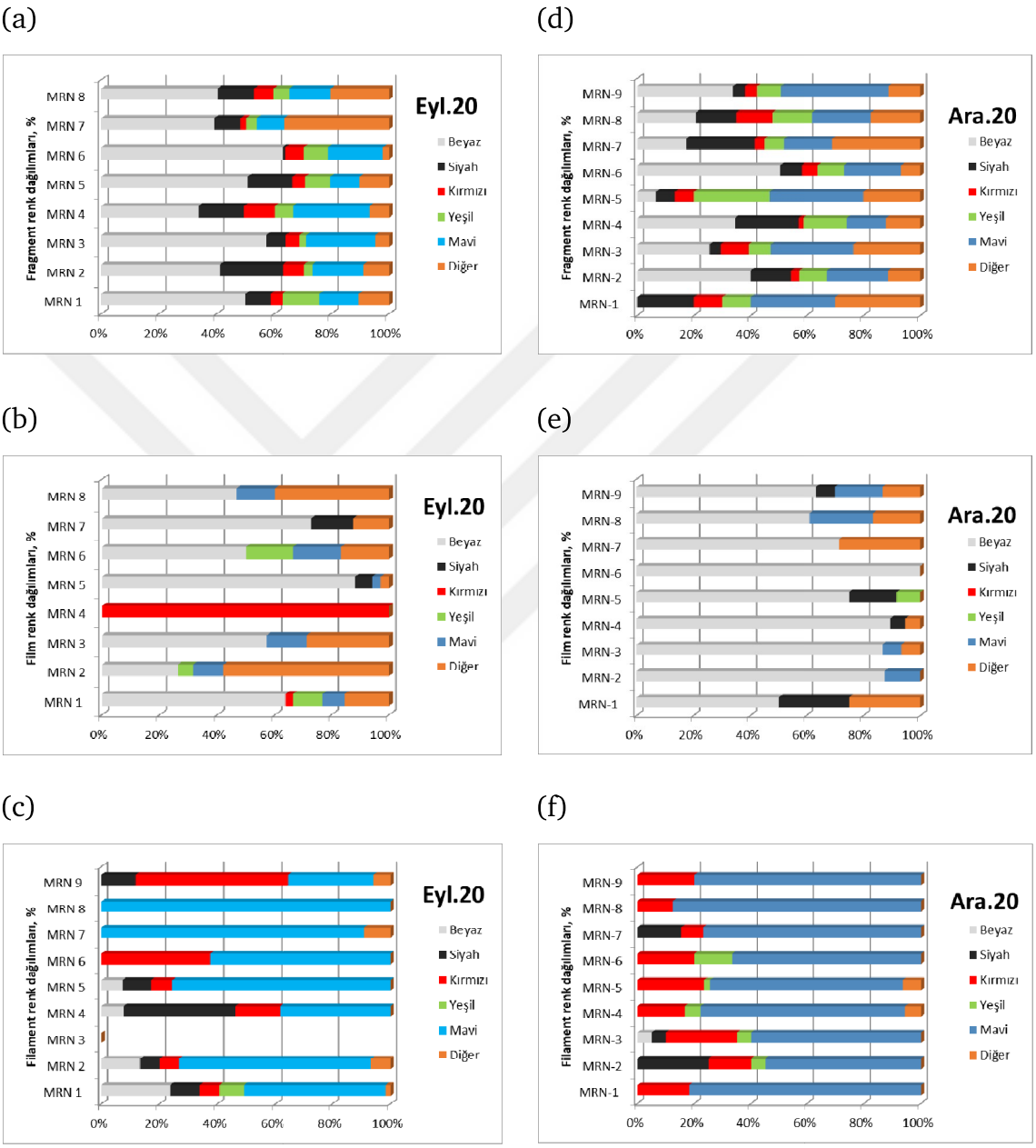
(c) (d)



Şekil 4.2 Aralık 2020'de marina istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

MP renk dağılımları, MP'lerin sınıflandırılmasında bir diğer önemli parametre olarak seçilmiştir ve her iki mevsime ait MP'lerin her bir istasyondaki renk dağılımları Şekil 4.1-d ve Şekil 4.2-d'de verilmiştir. Şekil 4.1-d'de verilen sonbahar mevsiminde alınan MP numunelerinden izole edilen MP'lerin renk dağılımlarına bakıldığında tüm istasyonlarda beyaz renkli MP'lerin daha bol olduğu görülmektedir. Tüm MRN istasyonları için ortalama değer alındığında beyaz renkli MP'lerin %47,3±9,9 olduğu göze çarpmaktadır. MRN istasyonlarında Eylül ayında en bol bulunan bir diğer MP rengi ise mavidir ve ortalama %19,0±7,0 değerindedir. Diğer renk oranları ise siyah, kırmızı, yeşil ve diğer (gri, pembe, mor, turuncu, sarı, kahverengi, transparan vd.) kategorileri için sırasıyla %8,9±5,6, %7,0±3,9, %6,1±3,9 ve %11,7±9,4 bulunmuştur. Kış numunelerinden izole edilen MP'lerin renk dağılımlarına bakıldığında ise (Şekil 4.2-d) beyaz renkli MP'lerin %36,2±11,1 oranında olduğu, mavi renkli MP'lerin ise %28,95±9,6 oranında olduğu göze çarpmaktadır. Siyah, kırmızı, yeşil ve diğer kategorilerine bakıldığında sırasıyla %8,5±4,4, %7,3±4,3, %6,6±2,85 ve %12,3±5,4 oranlarında olduğu görülmektedir. Fragment, film ve filament türü

MP'lerin en yaygın bulunan renklerine bakıldığında ise fragment ve filmlerde en yaygın türün beyaz ve transparan olduğu saptanmışken, filament türü MP'lerde mavi ve siyah renklerin tüm mevsimlerde oldukça yoğun bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.3).



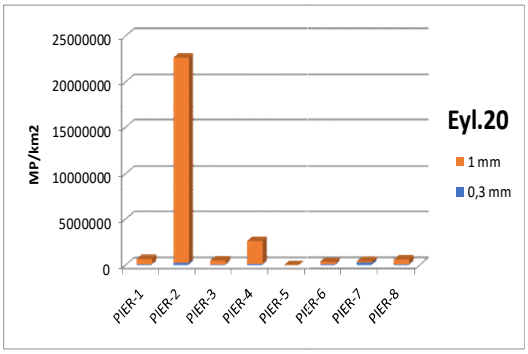
Şekil 4.3 Sonbahar ve kış mevsimlerinde marinalarda fragment (a;d), film (b; e) ve filament (c; f) türlerindeki renk dağılımları

4.1.2 İskelelerde (PIER) Mikroplastik Dağılımları

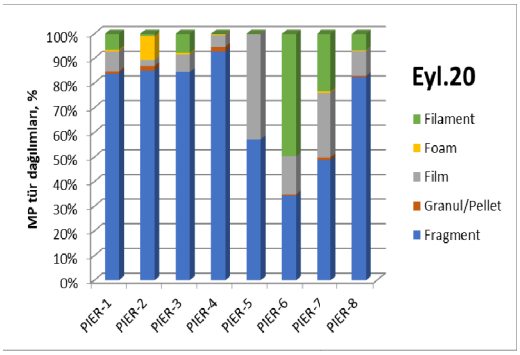
Tez çalışması kapsamında bulunan 8 adet iskele (PIER) istasyonlarından alınan deniz yüzey suyu numunelerinden izole edilen MP bollukları, tür, boyut ve renk

dağılımları Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de verilmiştir. Şekil 4.4-a'da verilen sonbahar dönemi mikroplastik bolluklarına bakıldığında, en yüksek PIER-2 istasyonunda MP bulunduğu göze çarpmaktadır ve izole edilen MP'lerin büyük çoğunluğunun 1-5 mm arası olduğu (tüm MP'lerin %98.7'si) (Şekil 4.4-c) ve kilometrekarede 22.672.470 adet MP bulunduğu görülmektedir. PIER-2'den sonra en yoğun istasyonun PIER 4 olduğu görülmektedir (2.650.490 MP/km^2). Diğer PIER istasyonlarında ise 31.826-699.740 MP/km^2 arasında MP bolluğu gözlenmiştir. Kış mevsiminde ise en yoğun MP bulunan istasyonun PIER-3 olduğu ve 21.912.704 MP/km^2 tespit edildiği görülmektedir. Sonbahar mevsimine benzer olarak en yoğun 2.istasyon PIER-4 bulunmuştur ve 1.655.646 MP/km^2 tespit edilmiştir. Bu iki istasyon haricinde diğer PIER istasyonlarında ise 95.285-388.341 MP/km^2 mikroplastik saptanmıştır. Elde edilen iki mevsim numunelerinden görüldüğü gibi MP kirliliği açısından en yoğun iskele istasyonlarının İstanbul Boğazı hattı üzerinde olduğu ve mevsimsel olarak MP dağılımının PIER-2, PIER-3 ve PIER-4 istasyonları arasında farklılık gösterdiği söylenebilir.

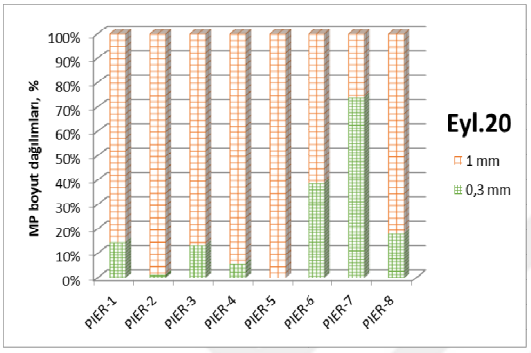
(a)



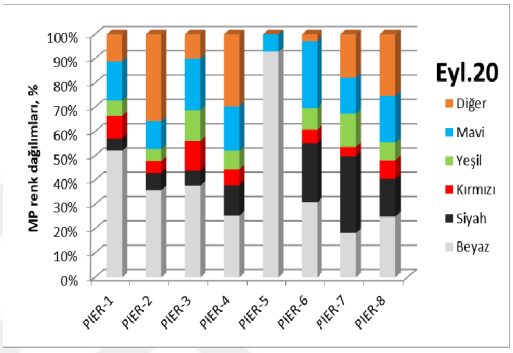
(b)



(c)

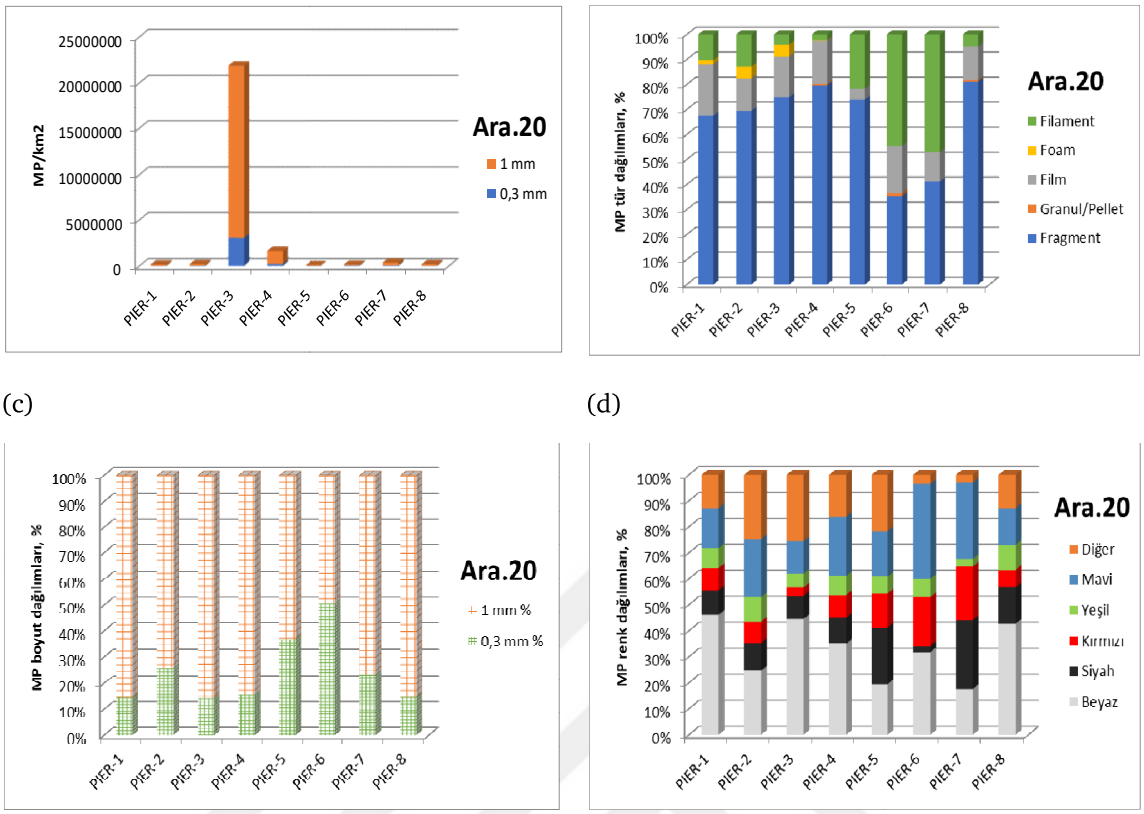


(d)



Şekil 4.4 Sonbahar'da iskele istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

(a) (b)



(c) (d)

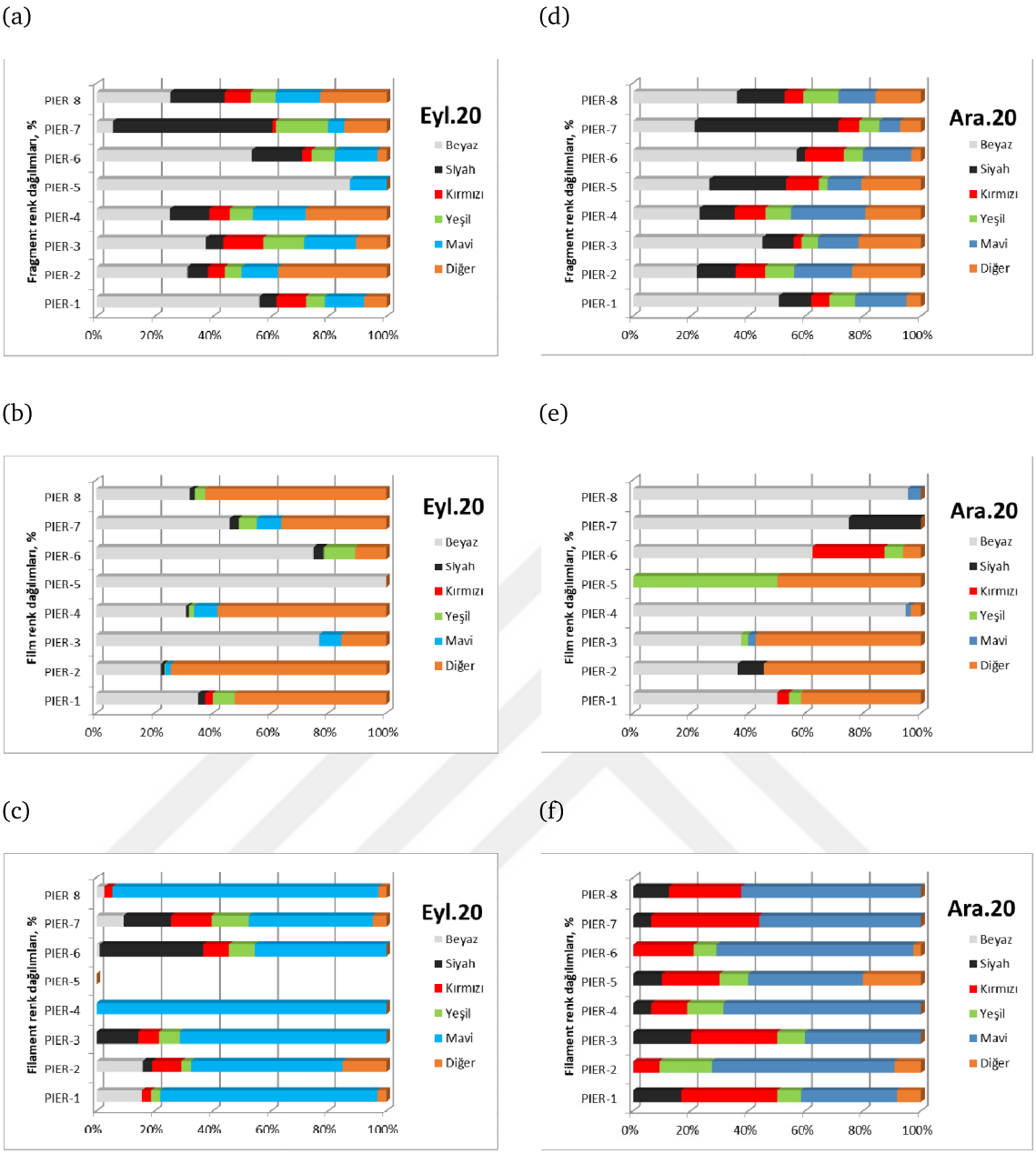
Şekil 4.5 Kış mevsiminde iskele istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

İskele istasyonlarında MP boyut dağılımları Şekil 4.4-c-Şekil 4.5-c'de verilmiştir. Sonbahar mevsiminde PIER-7 istasyonu (1-5 mm arası %25,9) hariç tüm diğer PIER istasyonlarında 1-5 mm arası MP oranı %61'den yüksek bulunmuştur. Kış mevsiminde ise 1-5 mm arası MP'ler sonbahar mevsiminde olduğu gibi baskın boyutlar olurken, tüm PIER istasyonları arasında en düşük oranda PIER-6 istasyonunda %49,4 arası 1-5 mm arası MP'ler tespit edilmiştir. Araştırma genelinde 1-5 mm arası MP'lerin daha yoğun miktarlarda bulunmasının sebebi deniz yüzey suyu filtrelenirken 300 μm gözenek boyutuna sahip naylon filtre ağının kullanılması ve bu gözenek boyutu altında yoğun olarak fibre/filament türünde bulunan MP'lerin izole edilememiş olduğu düşünülmüştür.

Çalışma kapsamında her iki mevsimde deniz yüzey suyundan izole edilen MP'lerin tür dağılımları ise Şekil 4.4-b ve Şekil 4.5-b'de verilmiştir. MRN istasyonlarına paralel olarak PIER istasyonlarında da fragment türü MP'lerin baskın olduğu göze çarpmaktadır. Sonbahar mevsiminde en fazla fragment türü

MP bulunan istasyonlar sırasıyla PIER-4 (%92,8), PIER-2 (%85,0), PIER-3 (%84,4) PIER-1 (%83,8) ve PIER-8 (%82,5) olmuştur. Diğer PIER istasyonlarında ise fragmentler %57 oranının altında bulunmuştur. Tüm PIER istasyonlarında ortalama fragment MP oranı %71,1±21,3 bulunurken, en yaygın bulunan bir diğer MP türleri olan film ve filament oranları %14,6±13,6 ve %11,9±17,1 tespit edilmiştir. Köpük ve granül/pellet oranları ise %3,4 ve %0,76 değerlerinde bulunmuştur. Kış mevsiminde ise ortalama fragment oranı %65,4±17,4 bulunurken filament ve film oranları sırasıyla %18,5±18,0 ve %14,4±5,1 bulunmuştur. Köpük ve granül/pellet oranları ise %1,6±3,4 ve%0,3±0,44 tespit edilmiştir.

PIER istasyonlarındaki MP renk dağılımlarına bakıldığında ise (Şekil 4.4-d ve Şekil 4.5-d) sonbahar mevsiminde beyaz renkli MP'lerin oranı %39,8±23,8 bulunmuşken kış mevsiminde beyaz renkli MP'lerin oranları sırasıyla %32,8±11,3 tespit edilmiştir. Sonbahar ve kış mevsimlerinde mavi renkli MP'lerin oranlarıysa sırasıyla %17,0±6,2 ve %21,3±8,3 bulunmuştur. Tüm mevsimlerde siyah renkli MP'lerin oranları sırasıyla %12,8±10,7 ve %12,9±7,7 bulunurken, kırmızı renkli MP'ler sırasıyla %6,2±3,7 ve %11,0±6,0 oranlarında tespit edilmiştir. En bol bulunan fragment, film ve filament türü MP'lerin yaygın bulunan renklerine bakıldığında ise tüm mevsimlerde fragmentlerde beyaz renk baskın iken, film partiküllerinde beyaz ve transparan renk baskın bulunmuştur. Filament türü MP'lerde ise mavi rengin baskın olduğu (yaz mevsimi hariç) göze çarpmaktadır (Şekil 4.6).

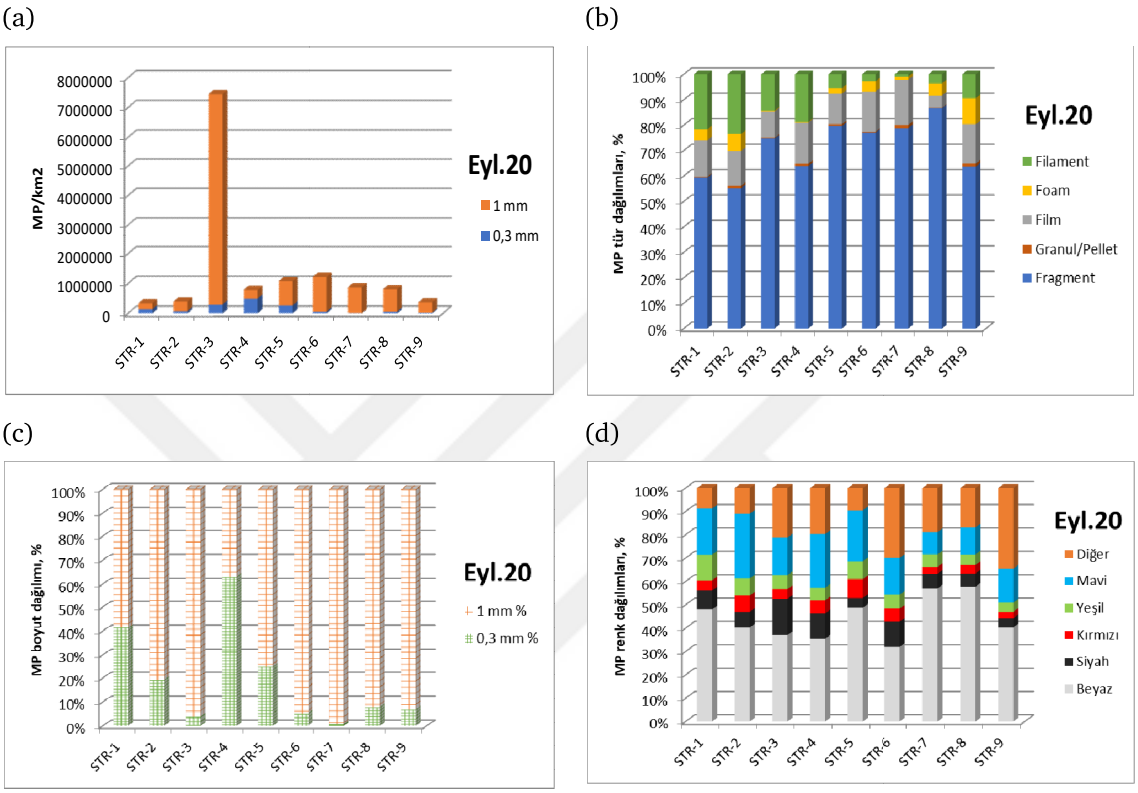


Şekil 4.6 Sonbahar ve kış mevsimlerinde iskelelerde fragment (a; d), film (b; e) vefilament (c; f) türlerindeki renk dağılımları

4.1.3 Denize Dökülen Derelerde (STR) Mikroplastik Dağılımları

Marmara Denizi'ne ve İstanbul Boğazı'na İstanbul sınırlarından ulaşarak dökülen toplam 9 adet dere yakınlarından alınan deniz yüzey suyu numunelerinden izole edilen MP'lere ilişkin sonuçlar Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir. Sonbahar mevsiminde MP'lerin en bol bulunduğu STR istayonu STR-3 iken (7.456.280 MP/km^2), diğer yoğun MP bulunan istasyonlar STR-6 (1.226.991,3 MP/km^2) ve STR-5 (1.088.868 MP/km^2) olmuştur (Şekil 4.7-a). Kış mevsiminde ise en yoğun

MP bulunan istasyon STR-6 olmuştur ve 103.082.927 MP/km^2 konsantrasyonunda bulunmuştur. Diğer yoğun MP bulunan istasyonlar ise STR-5 (7.665.668 MP/km^2), STR-8 (4.695.048 MP/km^2) ve STR-7 (3.895.793,5 MP/km^2) olmuştur. STR-3 istasyonunda ise 2.018.692 MP/km^2 konsantrasyonunda MP tespit edilmiştir (Şekil 4.8-a).

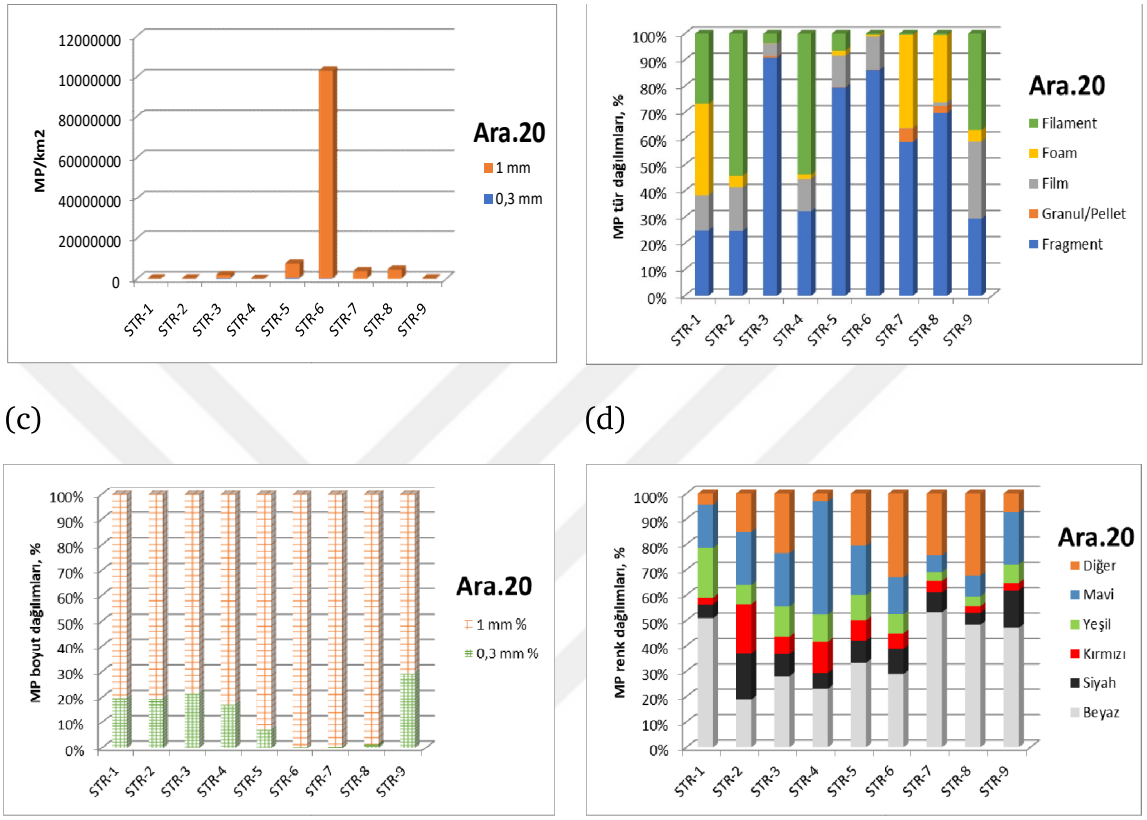


Şekil 4.7 Sonbahar mevsiminde denize dökülen dere istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

STR istasyonlarından izole edilen MP türlerine bakıldığında ise sonbahar mevsiminde tüm istasyonlarda fragment MP türü oranı %55 oranından büyük bulunurken, ortalama %71,9±11,1 fragment tespit edilmiştir. STR istasyonlarında yaygın bulunan diğer MP türleri ise film ve filament türleri olup, sırasıyla %13,1±4,1 ve %11,3±9,2 oranlarında bulunmuştur. Köpük ve granül/pellet türü MP'ler ise düşük oranlarda tespit edilmiştir (sırasıyla %3,02±2,3 ve %0,6±0,4) (Şekil 4.7-b). Kış mevsiminde fragment türü MP'lerin yoğunluğunun sonbahar mevsimine kıyasla ciddi oranlarda az bulunduğu gözlenirken, tüm istasyonlarda ortalama ftagment türü MP'lerin oranı %58,4±27,6 bulunmuştur. Diğer baskın MP türleri ise filament ve köpük türleri

olarak saptanmıştır ve sırasıyla %18,2±23,7 ve %13,1±16,0 oranlarında tespit edilmiştir. Kış mevsiminde film ve granül/pellet türü MP'lerin oranları ise %9,1±6,1 ve %1,1±1,9 bulunmuştur (Şekil 4.8-b).

(a) (b)



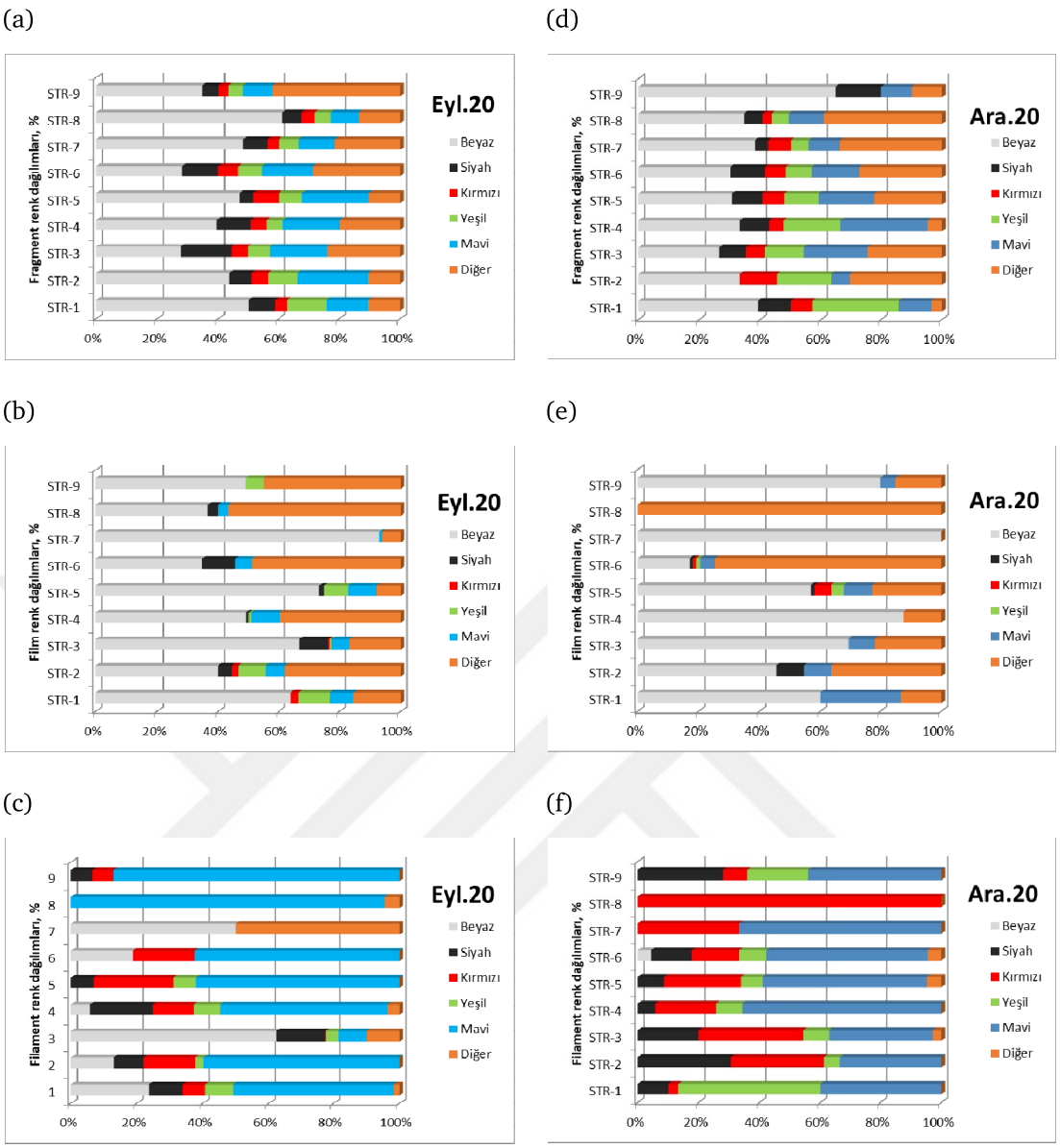
(c) (d)

Şekil 4.8 Kış mevsiminde denize dökülen dere istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

STR istasyonlarında MP boyut dağılımlarına bakıldığında, MRN ve PIER numunelerine paralel olarak 1-5 mm arası MP'lerin daha bol olduğu tespit edilmiştir. Sonbahar mevsiminde tüm STR istasyonlarında 1-5 mm arası MP'ler ortalama %79,1±21,9 bulunurken, 0.3-1 mm arası boyuta sahip MP'lerin %20,9±21,9 oranında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.7-c). Kış mevsiminde ise 1-5 mm arası boyuta sahip MP'lerin oranı %89,2±9,45 iken, 0.3-1 mm arası MP'lerin oranı %10,8±9,45 bulunmuştur (Şekil 4.8-c). Özellikle STR-6 ve STR-5 istasyonlarında 1-5 mm arası MP oranları oldukça yüksek bulunmuştur (sırasıyla %93,70 ve %89,30). Elde edilen bu veriler Haliç'e dökülen STR-6 ve STR-5

dereleri vasıtasıyla karasal kaynaklı boyutu 1-5 mm arası olan MP'lerin yoğun olarak Haliç'te biriktiğini işaret etmektedir.

STR istasyonlarında bulunan MP'lerin renk dağılımlarına bakıldığında, sonbahar mevsiminde tüm STR istasyonlarında beyaz renkli MP'lerin oranı %44,1±9,3 bulunurken, mavi, siyah, yeşil ve kırmızı MP'lerin oranı sırasıyla %17,8±5,8, %8,0±3,8, %6,35±2,1 ve %4,9±1,8 tespit edilmiştir. Diğer renk kategorisindeki MP'lerin oranı ise %18,9±8,9 oranında bulunmuştur (Şekil 4.7-d). Kış mevsiminde deniz yüzey suyundan ekstrakte edilen MP'lerin renk dağılımları ise beyaz %36,8±13,1, mavi %19,2±11,0, siyah %9,3±4,4, yeşil %9,1±4,8, kırmızı %7,3±5,6 ve diğer %18,2±11,4 bulunmuştur (Şekil 4.8-d). Her iki mevsimde fragment, film ve filament türü MP'lerin yaygın renk dağılımları ise fragment ve film için beyaz ve transparan, filament için ise mavi ve siyah renk olarak saptanmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Sonbahar ve kış mevsimlerinde STR istasyonlarında fragment (a; d), film (b; e) ve filament (c; f) türlerindeki renk dağılımları

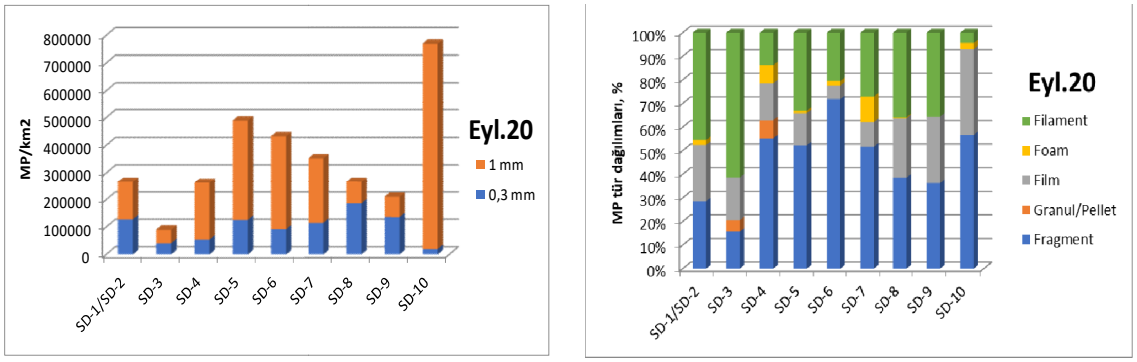
4.1.4 Deniz Deşarjı Yapılan İstasyonlarda (SD) Mikroplastik Tür ve Renk Dağılımları

İstanbul ili Su ve Kanalizasyon idaresi (İSKİ) tarafından işletilmekte olan toplam 10 adet atıksu arıtma tesisinin Marmara Denizi'ne ve İstanbul Boğazı'na deniz deşarjı yapılan koordinatlardan alınan deniz yüzey suyu numunelerinden izole edilen MP'lerin bollukları, türleri, boyut ve renk dağılımları Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir. SD istasyonlarından SD-1, SD-2, SD-8, SD-9 ve SD-10'a ileri biyolojik AAT'lerin arıtılmış atıksuları deşarj edilirken, SD-3, SD-4, SD-5, SD-6 ve

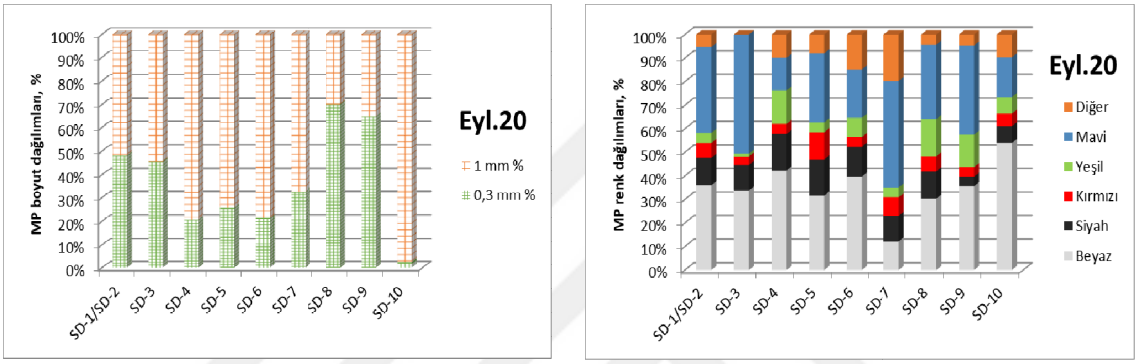
SD-7'ye ön arıtma tesisi çıkış sularının deşarj edildiği bilinmektedir. Sonbahar mevsiminde SD istasyonlarında en fazla MP, SD-10 (Silivri-Çanta deniz deşarjı) istasyonunda tespit edilmiştir (770.048,5 MP/km^2). SD istasyonları içinde diğer yoğun MP bulunan istasyon ise SD-5 (Burgazada deniz deşarjı: 489.556 MP/km^2) olmuştur (Şekil 4.10-a). Kış mevsiminde en yüksek MP bolluğu tespit edilen istasyon ise SD-7 olmuştur ve 323.616 MP/km^2 tespit edilmiştir. Diğer yoğun istasyon ise SD-10'dur ve 158.682,5 MP/km^2 konsantrasyonu bulunmuştur (Şekil 4.11-a).

SD istasyonlarında bulunan MP'lerin tür dağılımları ise Şekil 4.10-b ve Şekil 4.11-b,'de verilmiştir. Tüm SD istasyonlarında sonbahar mevsiminde %45,1±17,1 fragment, %30,8±17,0 filament, %19,7±9,5 film, %3,0±3,8 köpük, %1,4±2,9 granül/pellet tespit edilmiştir. En yüksek fragment türü MP oranı SD-6 istasyonunda bulunmuş olup (%71,8), en az fragment oranı ise SD-3 istasyonunda (%15,7) bulunmuştur (Şekil 4.10-b). Kış mevsiminde ise filament türü MP'ler baskın tür tespit edilmiş olup tüm istasyonlarda ortalama %58,2±26,1 oranında bulunmuştur (Şekil 4.11-b). Bilindiği gibi MP'lerin birincil kaynaklarından biri kentsel atıksular olup, özellikle çamaşır makinesi çıkış sularından atıksulara filament türünde MP'lerin ulaştığı bildirilmektedir [169], [170]. Şimdiye kadar MRN, PIER ve STR istasyonlarında iki mevsim boyunca fragment türü MP'ler baskın tür olarak bulunmuşken, görüldüğü gibi SD istasyonlarında filament türü MP'ler daha bol bulunmuştur. Bu bulgunun sebebinin 10 adet SD istasyonundan sadece 5'inde ileri biyolojik atıksu arıtımın uygulandıktan sonra arıtılmış atıksuyun deşarj edildiği, diğer 5 istasyonda ise sadece ön arıtma uygulandıktan sonra atıksuların denize deşarj ediliyor olması söz konusu olabilir. Kış mevsiminde fragment, film, granül/pellet ve köpük türü MP oranları ise sırasıyla %27,6±19,4, %10,4±10,3, %2,2±3,6 ve %1,4±2,9 bulunmuştur.

(a) (b)



(c) (d)

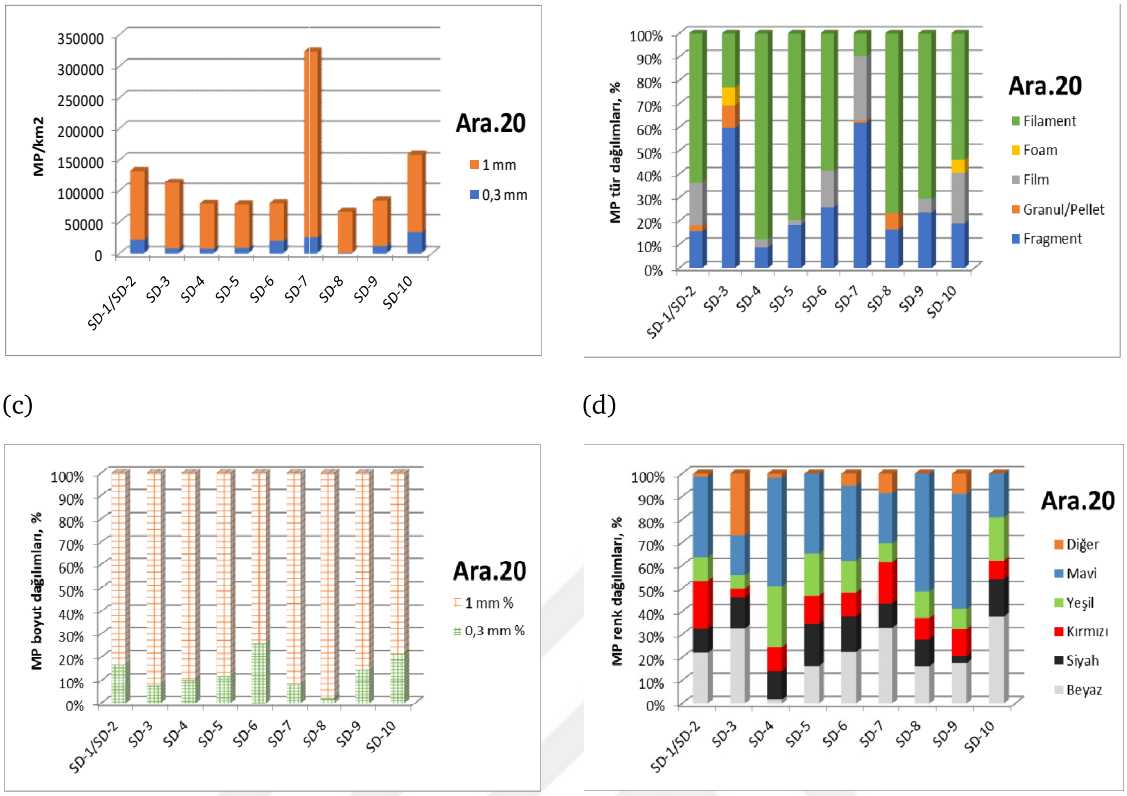


Şekil 4.10 Sonbahar mevsiminde deniz deşarjı (SD) istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

SD istasyonlarında tespit edilen MP'lerin boyut dağılımlarına bakılacak olursa, her iki mevsimde de 1-5 mm arası MP'lerin oransal olarak daha yüksek olduğu Şekil 4.10-c ve Şekil 4.11-c'den görülmektedir. Sonbahar mevsiminde 0,3-1 mm arası MP ve 1-5 mm arası MP oraları sırasıyla %36,9±22,1 ve %63,1±22,1 bulunmuştur. Kış mevsiminde ise bu oranlar sırasıyla %13,3±7,3 ve %86,7±7,3 bulunmuştur.

Tüm mevsimlerde MP renk dağılımları ise Şekil 4.10-d ve Şekil 4.11-d'den görülmektedir. Sonbahar mevsiminde tüm SD istasyonları %35,04±11,2 oranında beyaz MP bulunurken, diğer en yaygın bulunan MP renginin mavi olduğu göze çarpmaktadır (%31,4±12,6). Kış mevsiminde ise %34,3±13,2 oranında mavi renkli MP'ler tespit edilmişken, %22,2±11,05 oranında beyaz ve %13,6±6,5 oranında ise yeşil renkli MP'ler bulunmuştur.

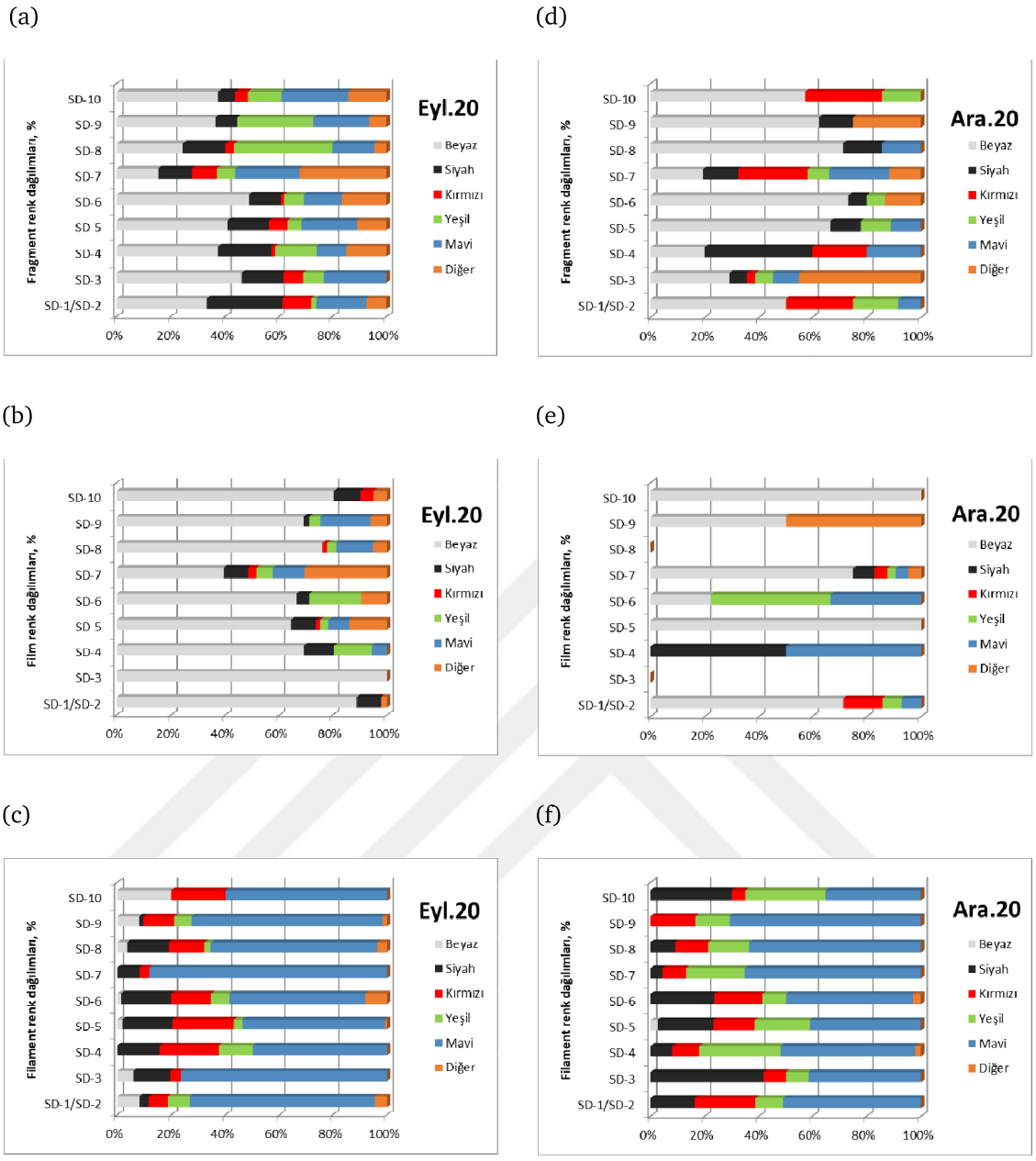
(a) (b)



(c) (d)

Şekil 4.11 Kış mevsiminde deniz deşarjı (SD) istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

Şekil 4.12'de tüm mevsimlerde izole edilen MP'lerin fragment, film ve filament türlerine göre renk dağılımları verilmiştir. Görüldüğü üzere, fragment ve film türlerinde daha çok beyaz renkli MP'ler tespit edilmişken, filament türlerinde mavi ve ardından siyah renkli MP'lerin baskın olduğu görülmektedir.



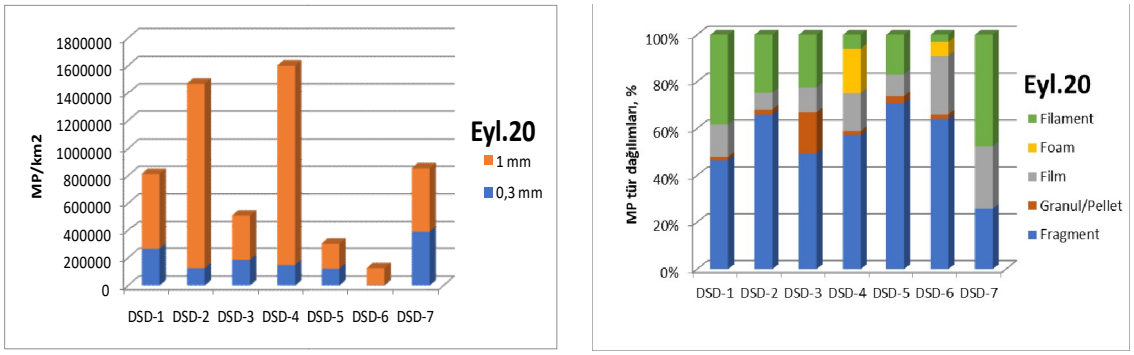
Şekil 4.12 Sonbahar ve kış mevsimlerinde deniz deşarjı (SD) istasyonlarında fragment (a; d), film (b; e) ve filament (c; f) türlerindeki renk dağılımları

4.1.5 Derin Deniz Deşarjı Yapılan İstasyonlarda (DSD) Mikroplastik Tür ve Renk Dağılımları

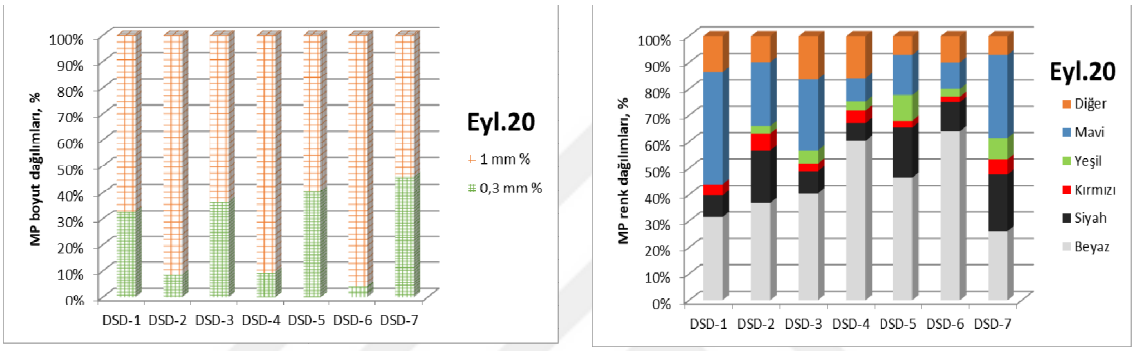
Çalışma kapsamında seçilen 7 adet atıksu derin deşarjı yapılan istasyonlardan iki mevsim boyunca manta net ile alınan deniz yüzey suyu numunelerinden izole mikroplastik bulguları Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'da sunulmuştur. DSD istasyonlarından, DSD-2, DSD-3, DSD-4 ve DSD-6 atıksu ön arıtma tesisi deşarj istasyonları iken, DSD-1 ve DSD-5 atıksu arıtma tesisi deşarj istasyonlarıdır.

DSD-7 ise ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi deşarjının yapıldığı istasyondur. Sonbahar mevsiminde DSD istasyonlarında en yüksek MP, DSD-4 (Küçüksu Derin Deniz Deşarjı) ve DSD-2 (Kadıköy Derin Deniz Deşarjı) istasyonlarında bulunmuştur. Bu istasyonlarda MP bollukları sırasıyla 1.602.226 MP/km^2 ve 1.482.338,1 MP/km^2 tespit edilmiştir (Şekil 4.13-a). DSD-1(Ahırkapı (Yenikapı) Derin Deniz Deşarjı) ve DSD-7 (Büyükçekmece Derin Deniz Deşarjı) istasyonları da diğer en yüksek MP bolluğu tespit edilen DSD istasyonları olmuştur (sırasıyla 813.642ve 854.659MP/km^2).En düşük MP konsantrasyonu DSD-6 istasyonunda tespit edilmiştir (126.149MP/km^2). Kış mevsiminde en yüksek MP bolluğu DSD-3 (Üsküdar Derin Deniz Deşarjı) istasyonunda 11.574.074,1 MP/km^2 değerinde bulunmuştur (Şekil 4.14-a). Bu mevsimde diğer en yüksek MP bolluğu bulunan istasyonlar DSD-4 ve DSD-1 istasyonları olmuştur (sırasıyla 2.811.653,1 ve 2.168.674,7 MP/km^2). Kış mevsiminde en düşük MP konsantrasyonu DSD-7 istasyonunda 124.641,2 MP/km^2 değerinde tespit edilmiştir.

(a) (b)



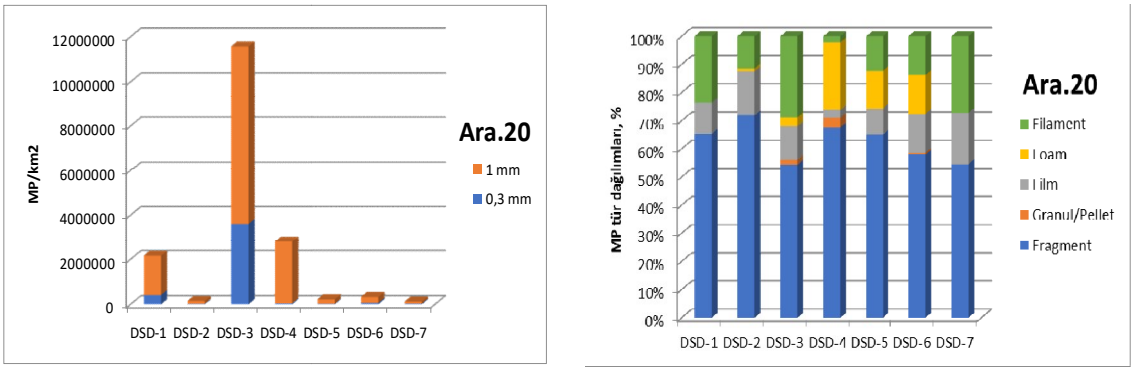
(c) (d)



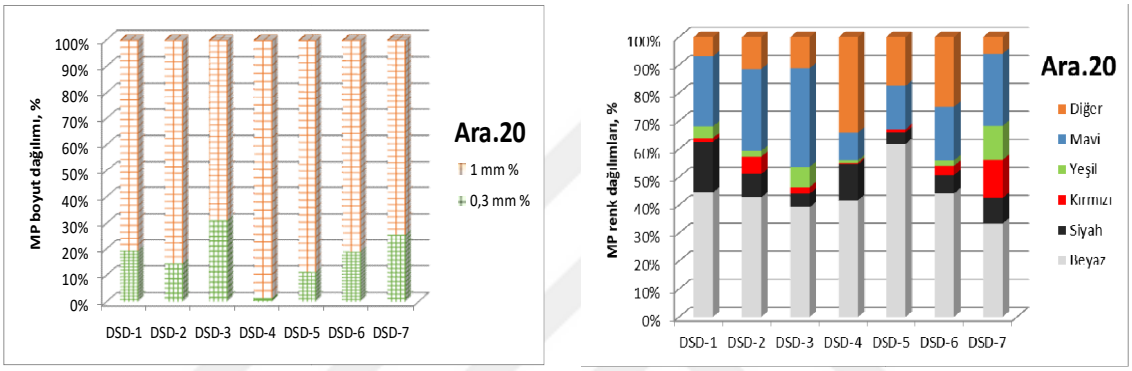
Şekil 4.13 Eylül 2020'de derin deniz deşarjı istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

Şekil 4.13-b ve Şekil 4.14-b'de her iki mevsim örnekleme sonucunda elde mikroplastiklerin tür dağılımları görülmektedir. Sonbahar mevsiminde %54,25±15,35 oranında fragment türünde MP tespit edilmişken, %22,73 ±16,19 oranında filament ve %15,51±7,65 oranında film türünde MP'ler bulunmuştur. Granül/pellet türündeki MP'ler %3,93±6,01 oranında tespit edilmişken, köpük türündeki MP'ler %3,58±7,17 oranında bulunmuştur. Kış mevsiminde, %62,37±6,80 oranında fragment, %17,07±9,75 oranında filament, %11,81±5,0 oranında film ve %7,94±9,32 oranında köpük türünde MP'ler tespit edilmiştir. Granül/pellet türündeki MP'lerin oranı ise %0,81±1,31 bulunmuştur.

(a) (b)



(c) (d)

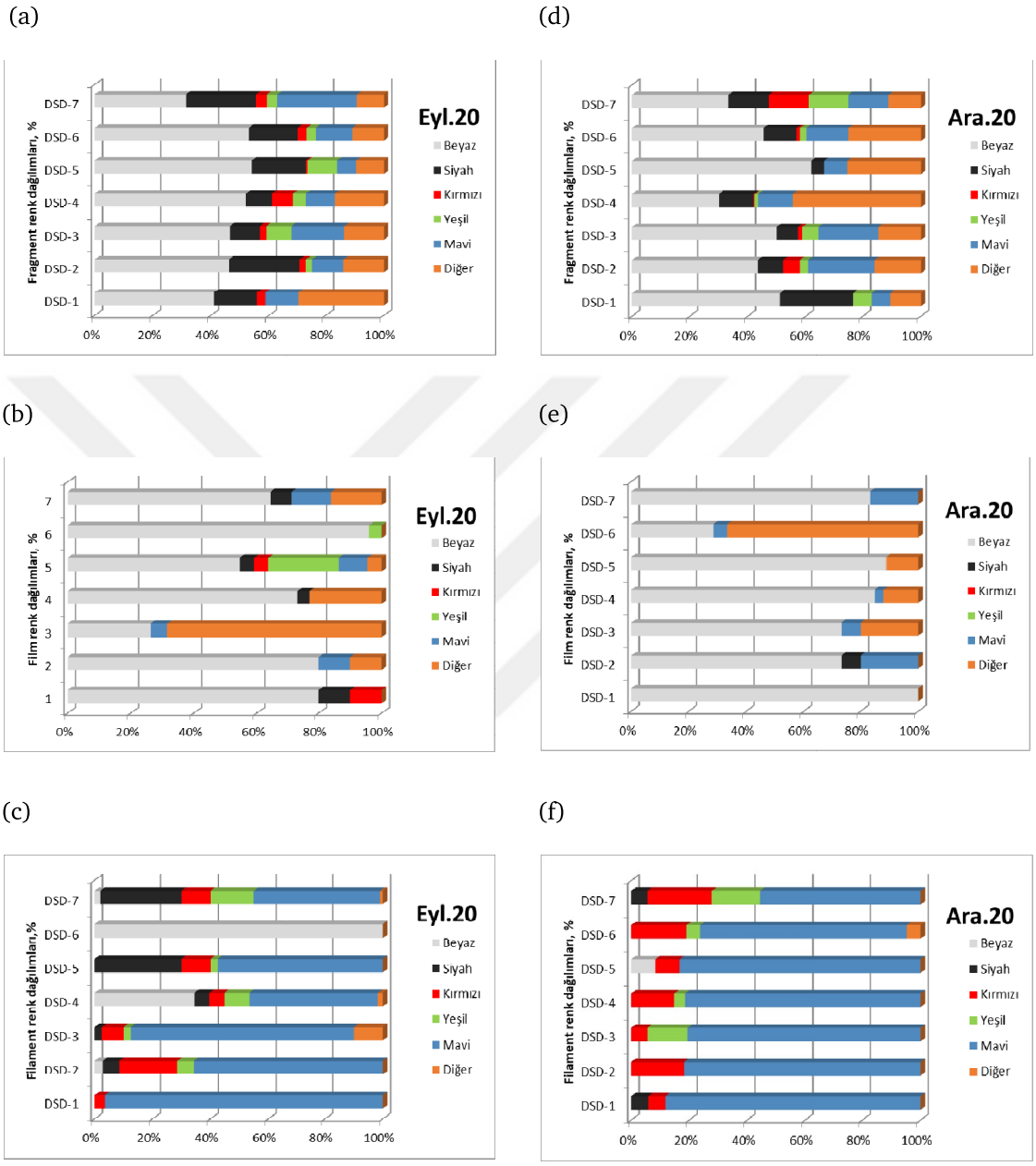


Şekil 4.14 Aralık 2020'de derin deniz deşarjı istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

DSD istasyonlarında MP boyut dağılımlarına bakıldığında ise sonbahar mevsiminde 0.3-1 mm arası MP oranı %25,36±17,41 iken, 1-5 mm MP oranı %74,64±17,41 bulunmuştur (Şekil 4.13-c). Kış mevsiminde bu oranlar sırasıyla %17,55±9,71 ve %82,45±9,71 tespit edilmiştir (Şekil 4.14-c).

DSD istasyonlarında MP renk dağılımları Şekil 4.13-d ve Şekil 4.14-d'de sunulmuştur. Sonbahar mevsiminde tüm istasyonlarda ortalama %43,67±14,18 beyaz, %22,72±12,22 mavi, %13,53±6,30 siyah, %4,58±3,33 yeşil ve %4,04±1,67 kırmızı renkli MP'ler tespit edilmiştir. Diğer kategorisinde bulunan renklerin oranı ise %11,45±3,87 bulunmuştur. Kış mevsiminde ise %43,90±8,78 beyaz, %22,79±8,59 mavi, %9,12±4,91 siyah, %4,08±4,62 kırmızı ve %4,06±4,27 yeşil renkli MP'ler tespit edilmişken, diğer kategorisindeki MP renklerinin oranı %16,05±10,30 bulunmuştur. Şekil 4.15'de iki mevsim boyunca en yaygın bulunan MP türleri olan fragment, film ve

filament türlerinin renk dağılımları verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre fragment ve film türü MP'lerin büyük çoğunluğu beyaz renkli tespit edilmişken, filament türü MP'lerde mavi rengin baskın olduğu görülmektedir.

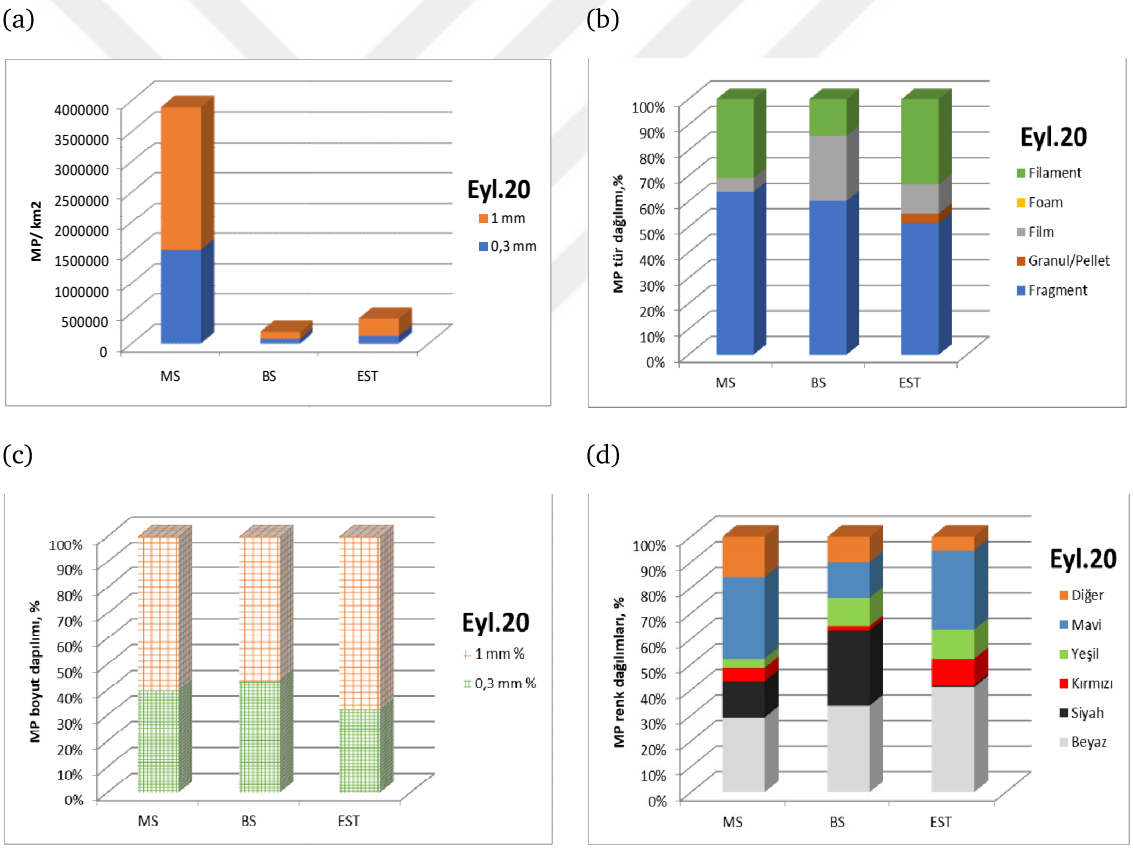


Şekil 4.15 Sonbahar ve kış mevsimlerinde derin deniz deşarjı istasyonlarında fragment (a; d), film (b; e) ve filament (c; f) türlerindeki renk dağılımları

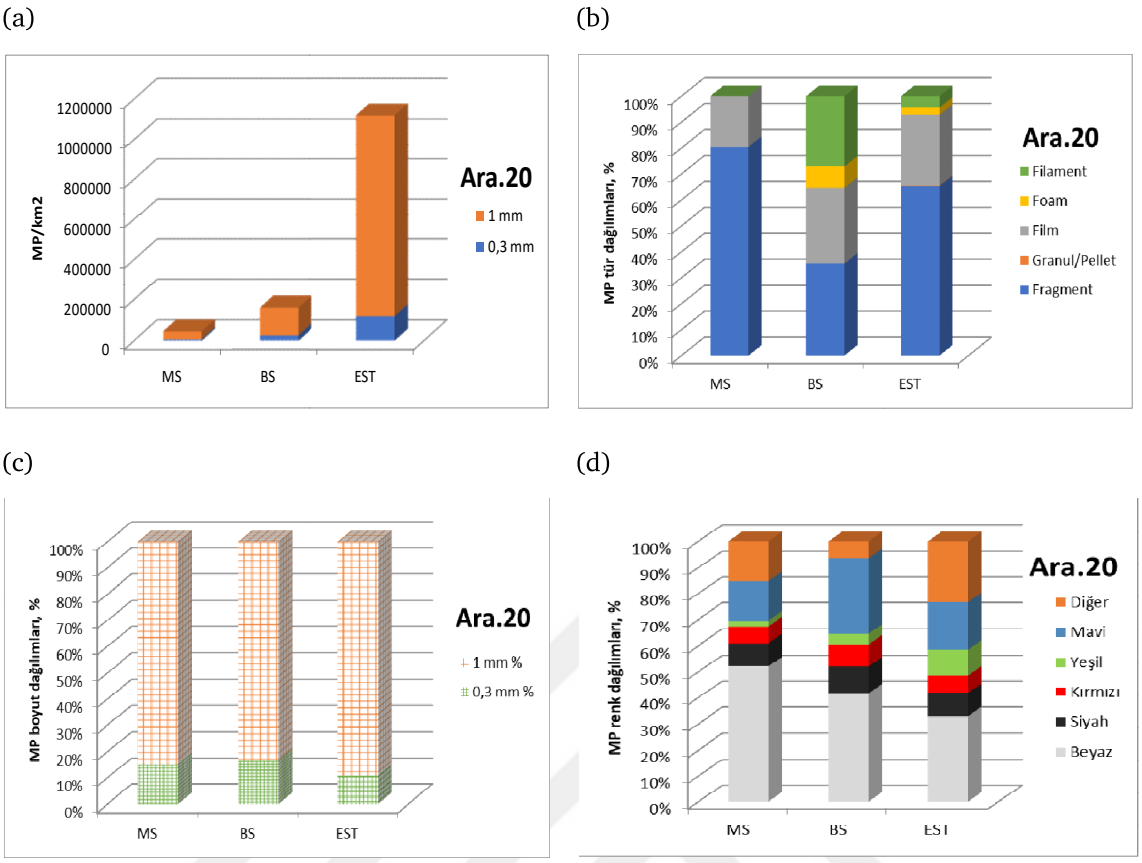
4.1.6 Karadeniz-Boğaz (BS), Marmara-Boğaz (MS) ve Haliç (EST) İstasyonlarında Mikroplastik Dağılımları

Çalışma kapsamında sınır değerlerin tespit edilebilmesi için Marmara Denizi-İstanbul Boğazı girişinde (MS) ve Boğaz-Karadeniz çıkışında (BS) mikroplastik

numuneleri alınmıştır. Ayrıca Haliç'teki MP bolluğunun tespit edilmesi amacıyla da EST isimli bir istasyondan iki mevsim mikroplastik numuneleri alınmıştır. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de sonbahar ve kış örnekleme mevsimlerine ait deniz yüzey suyundaki MP bollukları, türleri, boyut ve renk dağılımları verilmiştir. Sonbahar mevsimi MP bolluklarına bakıldığında en yüksek MP bolluğu MS istasyonunda bulunmuş olup, 3.901.933,7 MP/km^2 konsantrasyonunda bulunmuştur. Sonbahar mevsiminde BS ve EST istasyonlarında sırasıyla 196.891,0 ve 430.025,9 MP/km^2 bulunmuştur. Kış mevsiminde ise en yüksek MP bolluğu EST istasyonunda tespit edilmiştir (1.120.277,7 MP/km^2). MS ve BS istasyonlarında ise sırasıyla 45.877,5 ve 160.901,0 MP/km^2 konsantrasyonlarında MP bulunmuştur.

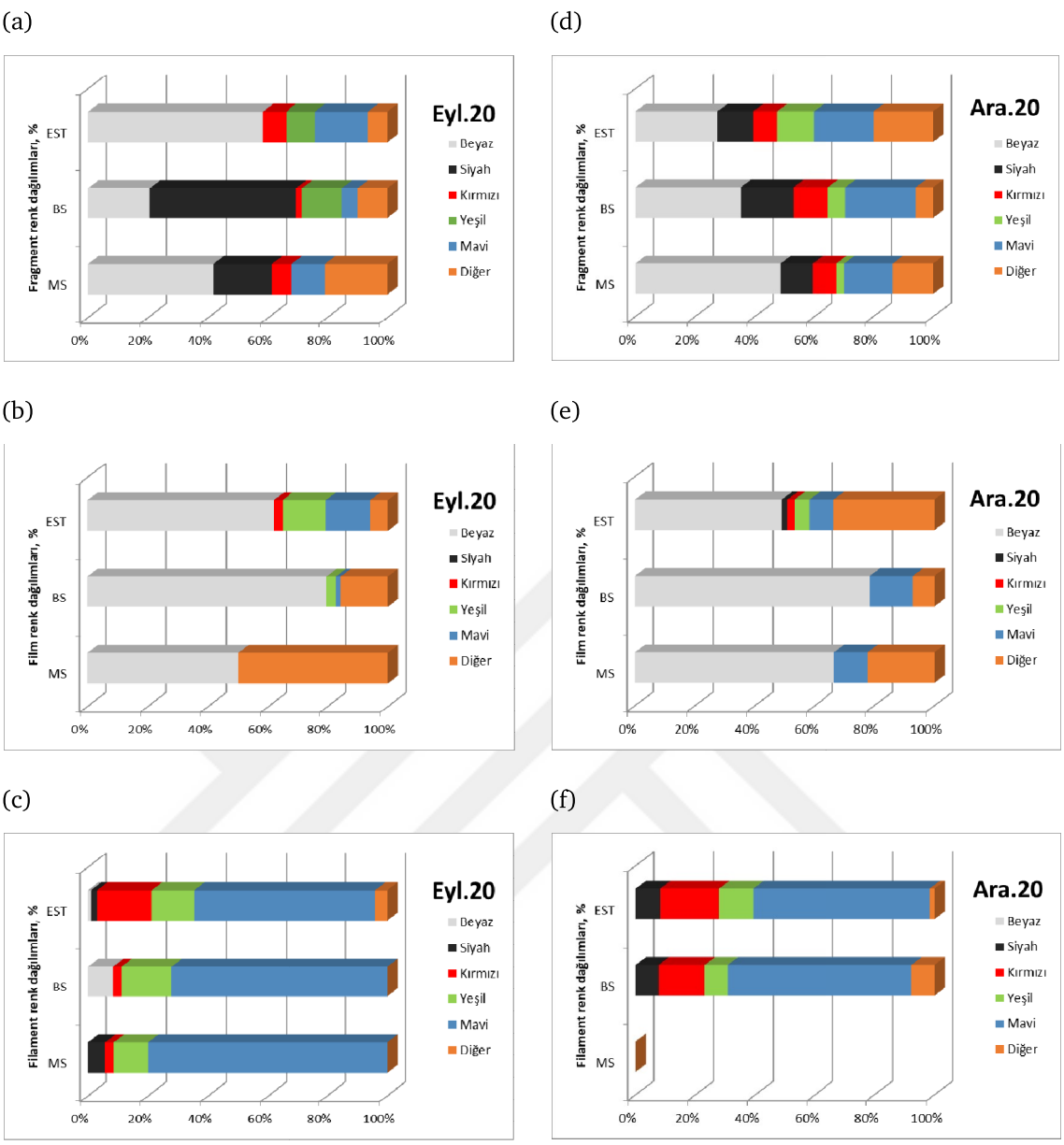


Şekil 4.16 Eylül 2020'de Marmara Denizi, Karadeniz ve Haliç istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)



Şekil 4.17 Aralık 2020'de Marmara Denizi, Karadeniz ve Haliç istasyonlarında deniz yüzey suyundaki mikroplastik miktar (a), tür (b), boyut (c) ve ortalama renk dağılımları (d)

İki mevsim numuneleme sonuçlarına göre MS istasyonunda sonbahar mevsiminde %63,72 oranında fragment tespit edilirken, %30,97 oranında filament ve %5,31 oranında film türünde MP'ler bulunmuştur. Kış mevsiminde ise bu MP türleri MS istasyonunda sırasıyla %80,43, %0 ve %19,56 değerlerinde tespit edilmiştir. BS istasyonunda ise sonbahar mevsiminde fragment, filament ve film türleri sırasıyla %60,16, %14,346 ve %25,50 oranlarında bulunurken, kış mevsiminde sırasıyla %35,42, %27,08, %29,17 bulunmuştur ve %8,33 oranında da köpük türünde MP'ler tespit edilmiştir. EST istasyonunda ise sonbahar mevsiminde %51,51 fragment, %33,33 filament, %11,45 film ve %3,70 oranında granül/pellet türü MP'ler tespit edilmiştir. Kış mevsiminde EST istasyonunda %65,31 oranında fragment, %27,23 oranında film, %4,42oranında filament, %2,82 oranında köpük ve %0,22 oranında granül/pellet türü MP'ler tespit edilmiştir.



Şekil 4.18 Sonbahar ve kış mevsimlerinde Marmara Denizi, Karadeniz ve Haliç istasyonlarında fragment (a; d), film (b; e) ve filament (c; f) türlerindeki renk dağılımları

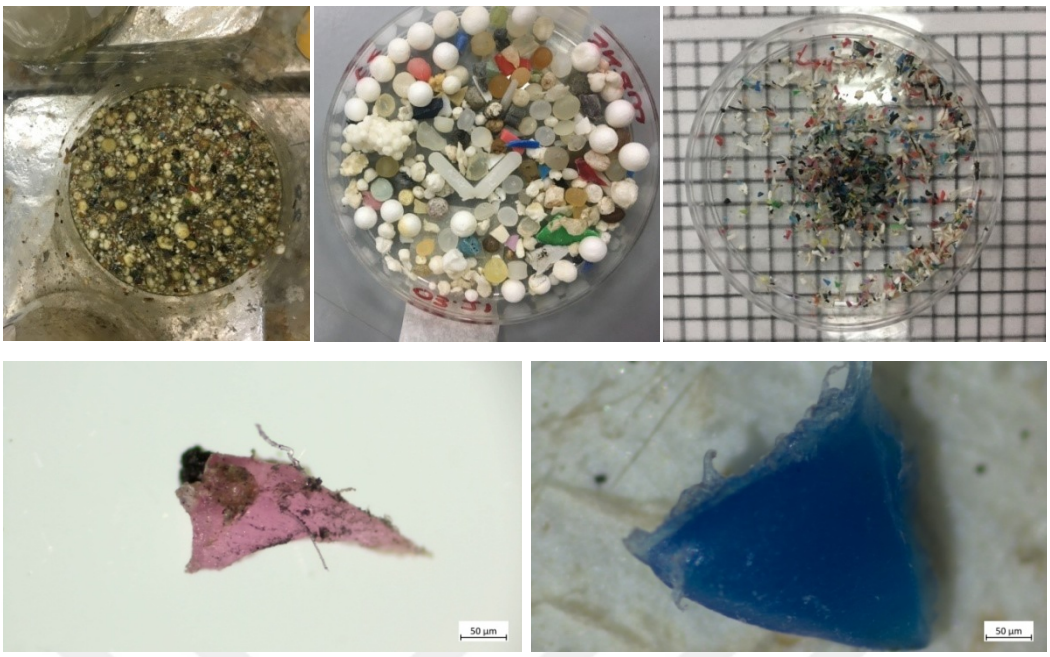
Her iki mevsim için deniz yüzey suyunda bulunan MP boyut dağılımlarına bakıldığında, tüm istasyonlarda 1-5 mm arası boyuta sahip MP oranı daha yüksek tespit edilmiştir (Şekil 4.16-c ve Şekil 4.17-c). MP renk dağılımlarına bakıldığında ise MS istasyonunda sonbahar mevsiminde %31,86 mavi, %29,20 beyaz, %14,16 siyah, %5,31 kırmızı, %3,54 yeşil ve %15,93 diğer kategorisinde MP tespit edilmiştir. Kış mevsiminde ise %52,17 beyaz, %15,22 mavi, %8,69 siyah, %6,52 kırmızı, %2,17 yeşil ve %15,22 diğer renk kategorisinde MP bulunmuştur. BS istasyonunda ise sonbahar mevsiminde %33,9 beyaz, %29,5

siyah, %13,9 mavi, %11,1 yeşil, %1,6 kırmızı ve %9,96 diğer renkli MP'ler tespit edilmiştir. Kış mevsiminde ise, %41,66 beyaz, %29,16 mavi, %10,42 siyah, %8,33 kırmızı, %4,17 yeşil ve %6,25 diğer kategoride MP bulunmuştur. Haliç'te bulunan EST istasyonunda ise sonbahar ve kış numunelerinde beyaz renkli MP'lerin oranı %41,08 ve %32,95bulunmuştur. Mavi renkli MP'lerin oranı ise tüm iki mevsimde de sırasıyla %30,98 ve %18,03tespit edilmiştir. Görüldüğü MP'lerdeki renk dağılımları hem mekânsal olarak hem de zamansal olarak değişiklik göstermektedir (Şekil 4.16-d ve Şekil 4.17-d).

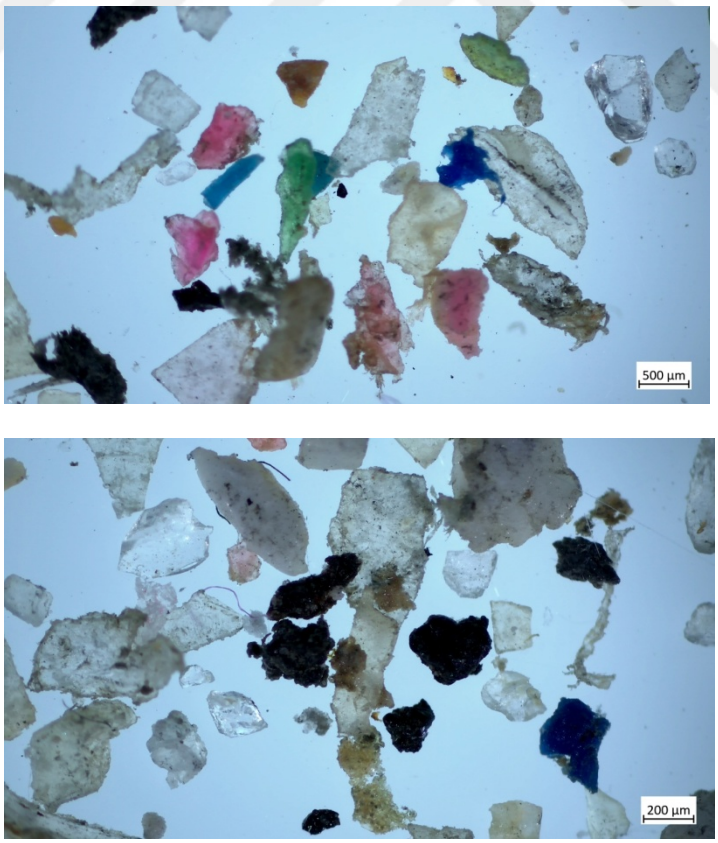
Fragment, film ve filament türü MP'ler deniz yüzey suyunda en yaygın tespit edilen numuneler olduğu için bu türlerdeki MP'lerin renk dağılımları da incelenmiştir (Şekil 4.18). Görüldüğü üzere, diğer istasyonlardakine paralel olarak fragment ve film türlerinde beyaz renkli MP'ler baskın iken, filament türü MP'lerde mavi ve siyah rengin ağırlıkta olduğu göze çarpmaktadır.

4.2 Deniz Yüzey Sularından İzole edilen Mikroplastiklere Ait Görseller

Deniz yüzey suyundan manta net ile alınan numunelerde daha çok fragment türü MP'lerin, ardından filament ve film türü MP'lerin yoğun bulunduğu sonuçlar kısmında ifade edilmiştir. Şekil 4.19'dan görüldüğü üzere, köpük veya granül/pellet türü MP'lere daha çok 1-5 mm arası daha büyük boyutlara sahip kategoride rastlanmıştır. Mikroskopta ise daha çok 0,3-1mm arası MP'lerin görsel analizleri yapılmakta olup, çoğunlukla filament, fragment ve film türü MP'ler gözlemlemiş olup, köpük ve granül/pellet türlerine nadir rastlanmıştır. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de ise mikroskopta sayım esnasında çekilen renkli fragment parçacıkları, film ve filament türü MP'ler görülmektedir.



Şekil 4.19 Islak peroksit oksidasyonu aşaması, köpük ve pellet türü MP'ler ve quadrantta sayılacak MP'lere ilişkin görseller



Şekil 4.20 Deniz yüzey suyundan izole edilen fragment türü mikroplastikler

Şekil 4.21 Deniz yüzey suyundan izole edilen transparan film ve fragment parçacıkları ve fibreler

4.3 Yüzey Suyu Numunelerinde pH ve İletkenlik Ölçüm Sonuçları

Bu tez çalışması kapsamında istasyonlarda deniz suyunun fiziksel özelliklerine ilişkin CTD cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Eylül ayı örnekleme çalışmalarının ilk gününde CTD cihazı ile ölçümlere geç başlanmış olup, birkaç istasyonda ölçüm yapılamamıştır. Aralık numuneleme döneminde ise Haliç istasyonları hariç (STR-5, STR-6 ve EST) tüm istasyonlarda su karakterizasyonunu belirlemek için CTD ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

4.3.1 Sonbahar Mevsiminde Deniz Yüzey Suyu Numunelerinde pH, Tuzluluk, İletkenlik, Sıcaklık, TDK ve Çözünmüş Oksijen (ÇO) Ölçüm Sonuçları

Sonbahar mevsiminde tüm istasyonlardaki pH değerleri 7,57-9,07 aralığında bulunmuştur. Tuzluluk değerleri ise 18,20-27,14 ppt aralığında değişim göstermiştir (Şekil 4.22). En düşük tuzluluk değeri BS ve MRN-9 istasyonlarında (18,20 ppt) tespit edilmiştir. İletkenlik değerleri ise 29,73-42,12 mS/cm aralığında tespit edilmiş olup, en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla MRN-9 ve SD-4 istasyonlarında ölçülmüştür. MRN-9 istasyonunda ölçülen en düşük tuzluluk değerine paralel olarak en düşük iletkenlik değeri de bu istasyonda ölçülmüştür. Deniz suyunun sıcaklığı ise 24,02-25,97 °C aralığında ölçülmüş olup en düşük ve yüksek sıcaklık sırasıyla SD-4 ve PIER-8 istasyonunda ölçülmüştür. Deniz suyunun kirliliğin tespitinde kullanılan bir diğer parametre olan toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri ise 5,36-21,26 g/L arasında değişmekte olup, en yüksek değere SD-9 istasyonunda en düşük değere ise MRN-8 istasyonunda rastlanmıştır.

Şekil 4.22 Sonbahar mevsiminde MRN (a), PIER (b), STR (c), SD (d), DSD (e) ve MS-BS (f) istasyonlarındaki deniz yüzey suyu karakterizasyonları

Su içinde çözünmüş halde bulunan O_2 su organizmalarının yaşam şartları için en önemli parametredir. Suda çözünmüş oksijen miktarı, atmosferde bulunan oksijenin kısmi basıncına, suyun sıcaklığına, oksijen üreten mikroorganizmalara ve su içinde bulunan oksitlenen kirleticilere bağlıdır. Gazların su ortamındaki çözünürlüğü sıcaklık ile ters orantılıdır. Dolayısıyla sıcaklık arttıkça gazların çözünürlüğü azalmaktadır. Dünya ve ülkemiz genelinde denize yakın bulunan atıksu arıtma tesislerinde evsel veya endüstriyel atıksular arıtıldıktan sonra alıcı ortam olarak denizlere deşarj edilmektedir. Böylece deniz ortamına deşarj edilen

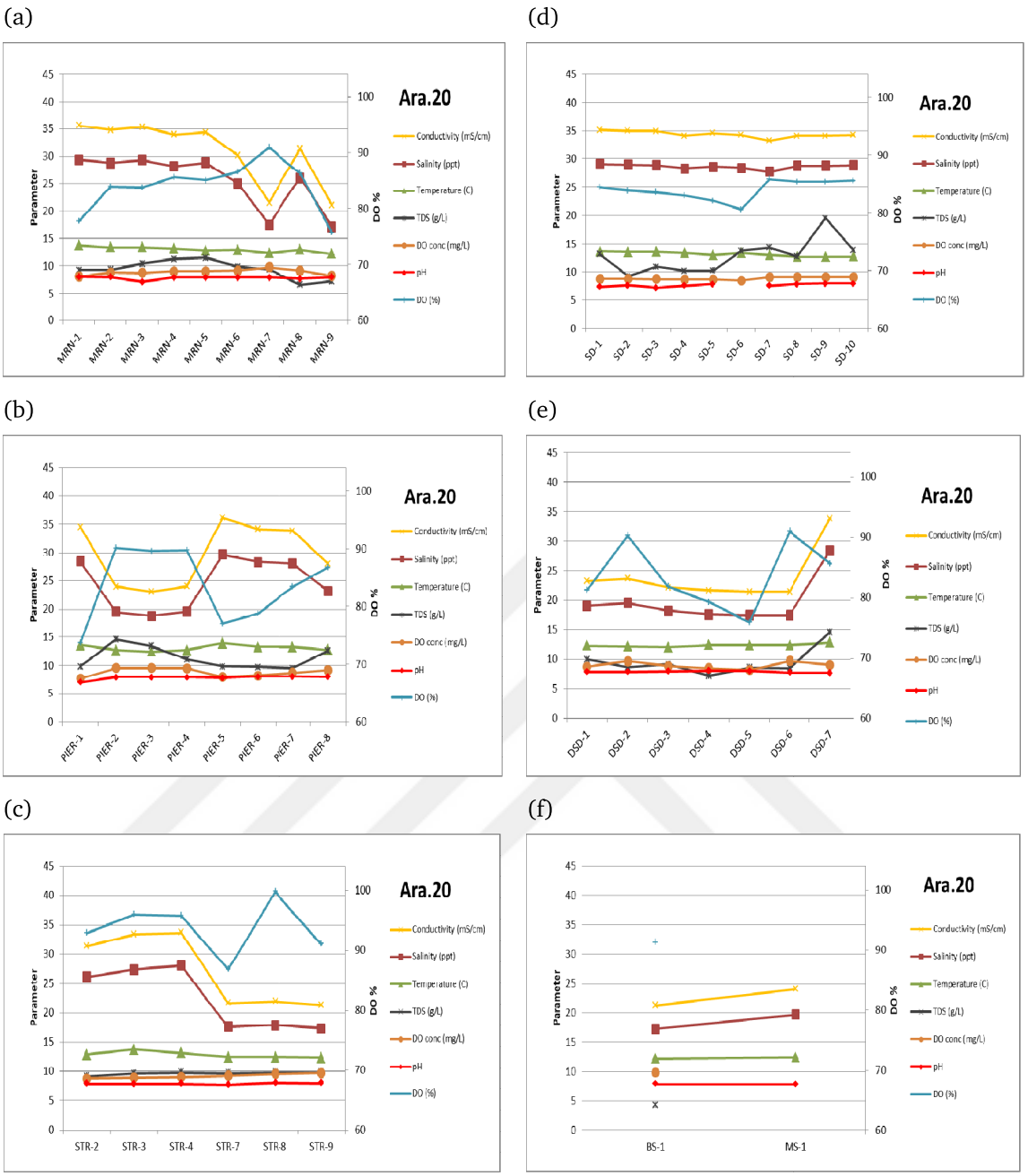
organik maddeler veya metaller oksitlenerek ortamdaki çözünmüş oksijeni tüketirler. Bu durum deniz organizmaları ve/veya ticari olarak yapılan balıkçılık için canlı hayatının korunmasında önemli bir faktördür. Tüm bunlara ek olarak İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi çevresel alanlardan kaynaklı kirliliklere oldukça açık bir denizdir. Bu nedenle tez çalışması kapsamında belirlenen lokasyonlardaki bazı parametrelerin değişkenliğini görmek için ölçümler yapılmıştır.

Ölçümler sonucunda tüm istasyonlardaki ÇO değerleri 7,26 - 9,29 mg/L arasında değişmiş olup, en düşük değer PIER-2 ve en yüksek değer MRN-3 istasyonunda ölçülmüştür (Şekil 4.22). Deniz suyunun bu istasyonlarda ölçülen sıcaklık değerlerine bakıldığında sırasıyla 20,53 °C ve 24,41 °C olarak tespit edilmiştir.

4.3.2 Kış Mevsiminde Deniz Yüzey Suyu Numunelerinde pH, Tuzluluk, İletkenlik, Sıcaklık, TDS ve ÇO Ölçüm Sonuçları

CTD cihazı ile deniz suyu pH değerleri 9,14 – 9,32 aralığında ölçülmüş olup Aralık ayında maksimum pH değerinin Eylül ayında ölçülen minimum değere yakın olduğu saptanmıştır (Şekil 4.23). YTÜ Araştırma Laboratuvarında ölçülen pH değerleri ise 6,98-8,04 aralığında ölçülmüştür. İklime bağlı olarak sıcaklık değerleri Eylül ayına göre yaklaşık %50 oranında daha düşük ölçülmüş ve 12,04–13,95 °C aralığında bulunmuştur.

Tüm istasyonlarda tuzluluk sonuçları 17,2–29,71 ppt; iletkenlik ise 21,2–35,65 mS/cm değerleri arasında ölçülmüştür. Eylül ayında gözlendiği gibi Karadeniz hattında bulunan BS istasyonunda en düşük tuzluluk ve iletkenlik değerleri ölçülmüştür. TDS değerleri ise 4,21–19,53 g/L aralığında ölçülmüş olup, en düşük BS istasyonunda, en yüksek SD-9 istasyonunda tespit edilmiştir. ÇO konsantrasyonları Aralık ayında 7,66–9,79 mg/L değerleri arasında değişmiş ve ortalama olarak en yüksek değerlerin sırasıyla MRN-9 (9,79 mg/L), STR (9,2 mg/L) ve en az değer ise PIER (8,80 mg/L) istasyonlarında tespit edilmiştir.



Şekil 4.23 Kış mevsiminde MRN(a), PIER(b), STR(c), SD (d), DSD (e) ve MS-BS (f)istasyonlarındaki su analiz değerleri

4.3.3 Deniz Suyu Fizikokimyasal Özellikleri ile Mikroplastikler Arasındaki İlişkinin Değerlendirilmesi

Tez kapsamında deniz yüzey suyundan mevsimsel olarak alınan numunelerden izole edilen MP bolluklarına, türlerine ve boyut dağılımlarına deniz suyunun fizikokimyasal özelliklerinin etkisi, SPSS'de Pearson'ın ürün momentum korelasyon katsayısı (r_p) ve Spearmen's Rho (r_s) katsayısı belirlenerek olası korelasyonlar ve ilişkiler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bilindiği gibi Pearson katsayısı genellikle -1 ile +1 arasındadır, burada -1, mükemmel bir negatif korelasyon ve +1, mükemmel bir pozitif korelasyon anlamına gelirken, 0, ilişkinin yokluğu anlamına gelir. Ancak iki değişken arasındaki rp katsayısı %95 (Korelasyon 0,05 düzeyinde önemli (2 kuyruklu)) ve %99 (Korelasyon 0,01 düzeyinde önemli (2 kuyruklu)) anlamlılık düzeyinde 0,4'den büyük veya -0,4'den küçük olduğu durumlarda istatistiksel olarak iki değişken arasında anlamlı bir korelasyon olduğu yargısına varılmaktadır.

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de Pearson (r_p) ve Spearmen's Rho (r_s) korelasyon katsayıları verilmiştir. Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'den görüldüğü üzere, MP bolluğu ile deniz suyunun pH, tuzluluk, iletkenlik, ÇO değerleri arasından zayıf da olsa anlamlı korelasyonlar gözlenmiştir. Pearson korelasyon katsayılarına bakıldığında, tuzluluk ve MP bolluğu arasında %99 anlamlılık düzeyinde daha güçlü negatif bir korelasyon saptanmıştır (r_p: -0,272). İletkenlik ile MP bolluğu arasında da %95 anlamlılık düzeyinde negatif korelasyon tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlardan deniz suyunun tuzluluk ve iletkenlik konsantrasyonları arttıkça MP bolluğunun azaldığı söylenebilir. TDS ve MP bolluğu arasında ise pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir (r_p: 0,282 (0,05)). Tien ve diğerleri (2020) de, balıklardaki mikroplastik bolluğunun iletkenlik, askıda katı maddeler ve pH ile ilişkili olduğunu bildirmiştir [171]. Tablo 4.2'de Spearmen's Rho korelasyon katsayıları görülmektedir. pH ve MP bolluğu arasında %99 anlamlılık düzeyinde pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir (rs: 0,295). MP bolluğu ve tuzluluk arasında %99 anlamlılık düzeyinde güçlü negatif bir korelasyon tespit edilmişken (r_s:-0,540), ÇO ve MP bolluğu arasında benzer şekilde negatif bir korelasyon gözlenmiştir (r_s: -0,231). Bu çalışmaya benzer şekilde, mikroplastikler ile ÇO arasında negatif bir ilişki Kataoka vd. (2019) tarafından

da tespit edilmiştir [172]. Ayrıca Donosa ve Touma (2020), ÇO ile ÇO ve mikroplastikler arasında negatif bir korelasyon elde ederken, mikroplastikler ile nitritler ve nitratlar, $BOİ_5$, KOİ, alkalinite, bulanıklık, amonyum, klorürler, fosfatlar ve iletkenlik arasında pozitif bir korelasyon bulunmuştur [173]. ÇO ve MP'ler arasındaki negatif korelasyonun, mikroplastikleri yayabilen ve konsantrasyonlarında azalmaya neden olan dalgaların (O_2 ile temas etmiş) etkisiyle ilişkili olabileceği düşünülebilir. Mikroplastiklerin taşınımı ve parçalanmasında dalgaların etkisini bildiren Chubarenko ve Stepanova (2017) tarafından da benzer bir hipotez raporlanmıştır [174].

Tablo 4.1 MP bolluğu, türleri ve boyutlarının deniz suyu özellikleri ile ilişkisinin Pearson testi ile değerlendirilmesi

Parametre	pH	Salinite	Sıcaklık	İletkenlik	TDS	MP	ÇO
Ph	1	-,268*	,753**	,334**	-,043	-,079	-,463**
Salinite	-,268*	1	-,194	,739**	,307**	-,272*	,005
Sıcaklık	,753**	-,194	1	,510**	,087	,003	-,742**
İletkenlik	,334**	,739**	,510**	1	,342**	-,237*	-,479**
TDS	-,043	,307**	,087	,342**	1	,282*	-,102
MP	-,079	-,272*	,003	-,237*	,282*	1	-,016
ÇO	-,463**	,005	-,742**	-,479**	-,102	-,016	1

*. Korelasyon 0.05 düzeyinde önemlidir ; **. Korelasyon 0.01 düzeyinde önemlidir.

Tablo 4.2 MP bolluğu, türleri ve boyutlarının deniz suyu özellikleri ile ilişkisinin Spearman's rho testi ile değerlendirilmesi

Parametre	pH	Salinite	Sıcaklık	İletkenlik	TDS	MP	ÇO
Salinite	-,269*	1,000	,034	,706**	,384**	-,540**	,060
Sıcaklık	,647**	,034	1,000	,491**	,087	,145	-,769**
İletkenlik	,351**	,706**	,491**	1,000	,425**	-,229*	-,373**
TDS	-,015	,384**	,087	,425**	1,000	-,031	-,065
MP	,295**	-,540**	,145	-,229*	-,031	1,000	-,231*
ÇO	-,518**	,060	-,769**	-,373**	-,065	-,231*	1,000

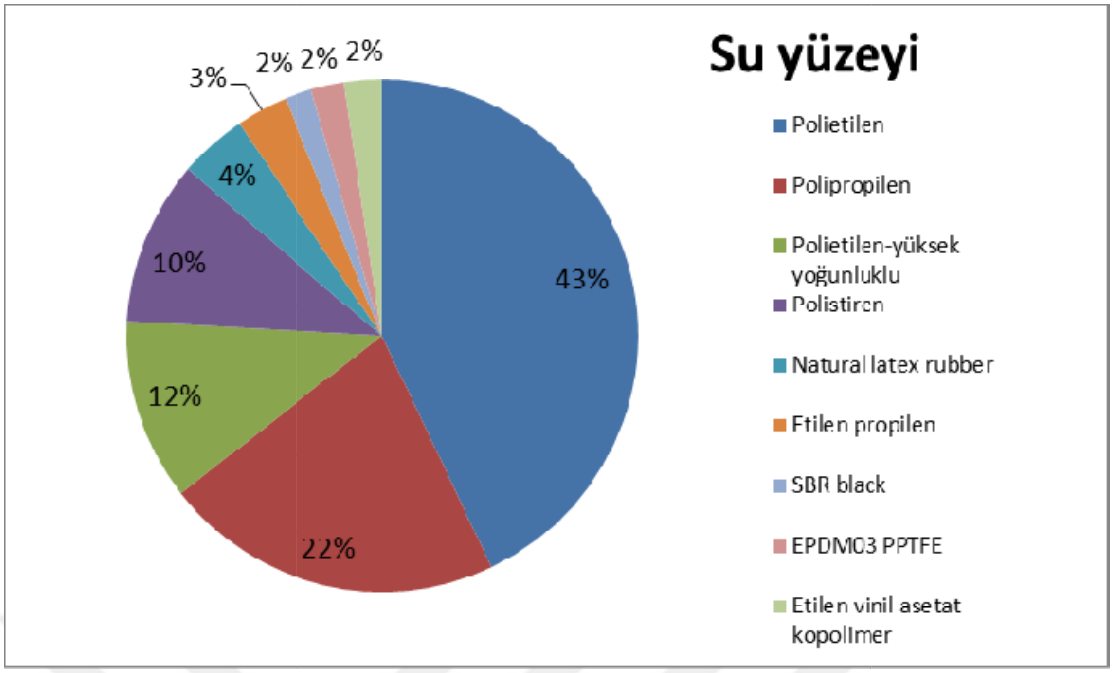
*. Korelasyon 0.05 düzeyinde önemlidir ; **. Korelasyon 0.01 düzeyinde önemlidir.

4.4 FT-IR Analizlerine Ait Sonuçlar

Plastikler, silikon, hidrojen, oksijen ve klorür gibi inorganik ve organik malzemelerden üretilmekte [47] ve düşük maliyetleri, hafif ağırlıkta ve dayanıklı olmaları dolayısıyla yoğun olarak çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Diğer yandan, plastik malzemeler zamanla paketleme/ambalaj endüstrisinde cam, metal ve kağıt malzemeleri ile yer değiştirmiştir [5]. Kütlesel olarak plastik üretimi 1940'lı yıllarda başlamasına rağmen küresel üretimde hızla artmış ve 2015 yılında 322 milyon tona ulaşmıştır [175]. Günümüzde yüksek ve düşük yoğunluklara sahip polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS) ve polietilen tereftalat (PET) türleri kullanılmaktadır. Bu tür plastikler küresel plastik üretiminin %90'nını oluşturmaktadır [51]. Yüksek dayanıklılığa ve korozyonlu akışkanlara karşı dirençli olmalarından dolayı plastikler çevresel açıdan önemli problemler teşkil etmektedir [90].

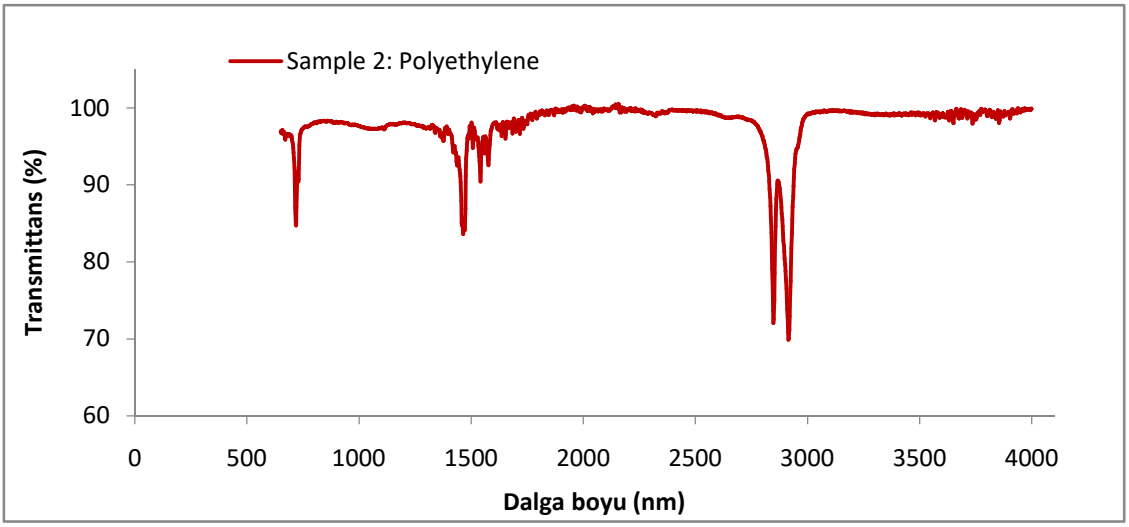
Gerçekleştirilen bu tez çalışması kapsamında su yüzeyinden alınan numunelerden izole edilen partiküllerden rastgele seçilen 500 adet parçacığın FTIR analizleri hizmet alımı yapılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen polimer türlerine ait veriler bu bölümde sunulmuştur. Şekil 4.24'deki pasta grafikte su yüzeyindeki mikroplastiklerin en yaygın tespit edilen polimer türlerinin yüzdesel dağılımları verilmiştir. Şekil 4.25-Şekil 4.27'de ise izole edilen 0,5-5 mm arası boyuta sahip mikroplastiklerin FTIR analiz sonuçlarına ait spektralar görülmektedir.

Su yüzeyinden izole edilen plastiklerin yüzdesel oranlarına bakıldığında (Şekil 4.128-a), %43 polietilen, %22 polipropilen, %12 yüksek yoğunluklu polietilen, %10 polistiren, %4 natural latex rubber, %3 etilen propilen, %2'lik oranlarda SBR Black (kauçuk türü), EPDM 03 PPTFE (etilen propilen kauçuk ve teflon kaplı) ve etilen vinil asetat kopolimeri olduğu görülmektedir. Su yüzeyinde ayrıca düşük oranlarda gasket SBR, butyl-branham laporte, diene terpolymer gibi türler de tespit edilmiştir, ancak yüzdesel oranları çok düşük olduğu için pasta grafiğe dahil edilmemiştir.

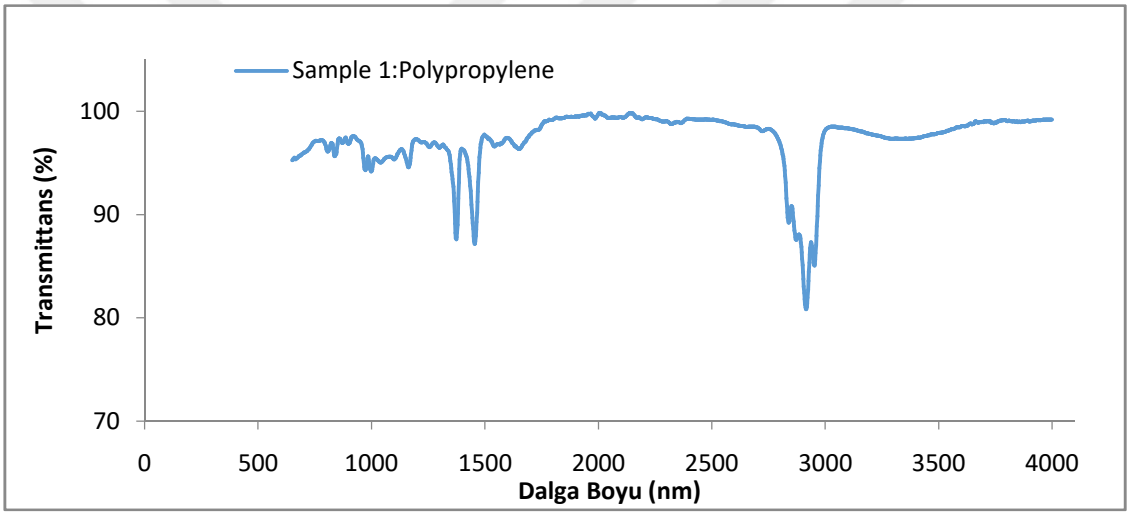


Şekil 4.24 Deniz yüzey en yaygın tespit edilen polimer türleri

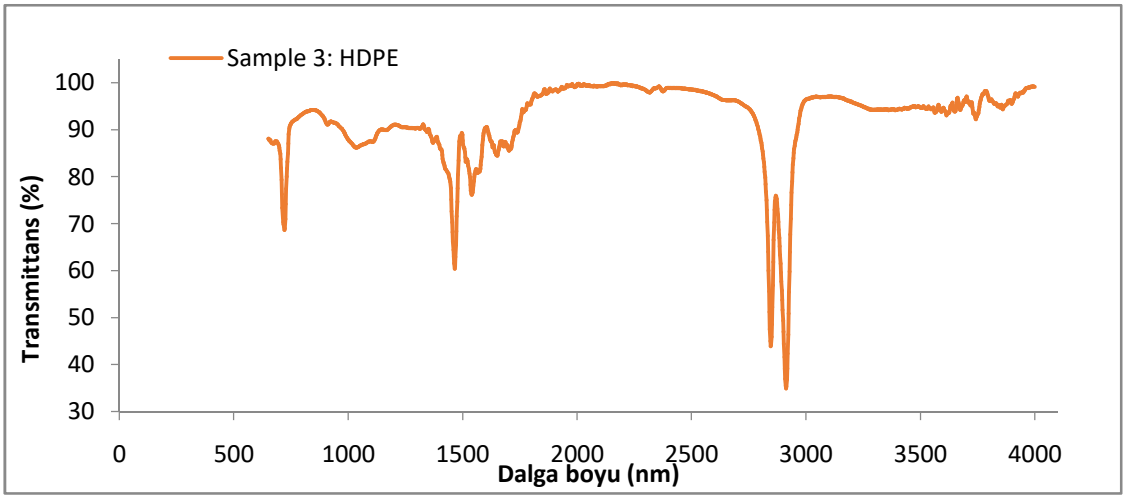
(a)



(b)

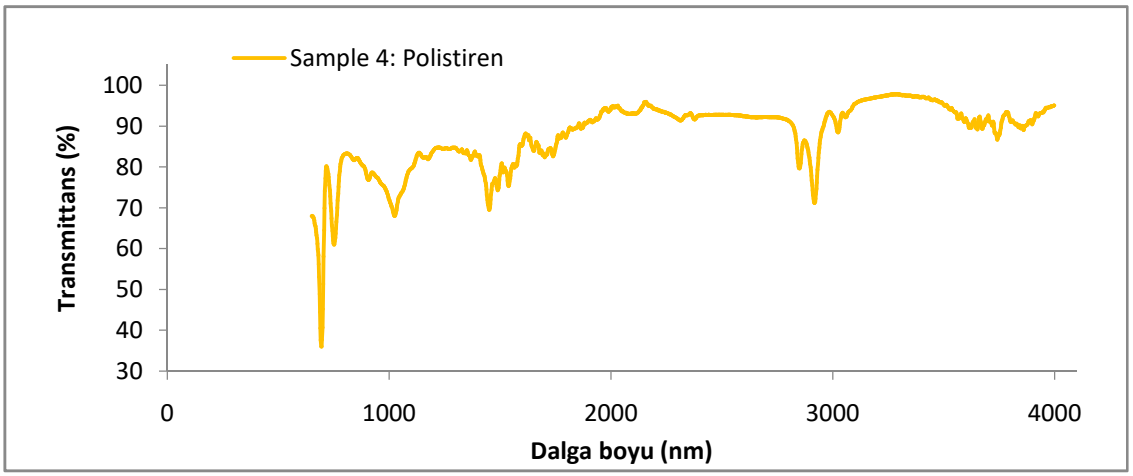


(c)

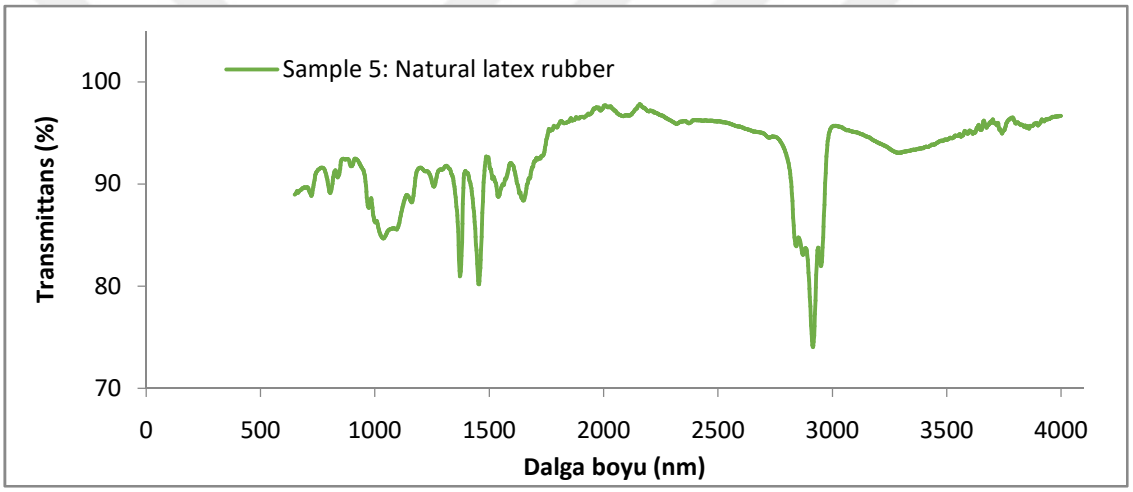


Şekil 4.25 En yaygın bulunan mikroplastik kimyasal tür spektraları

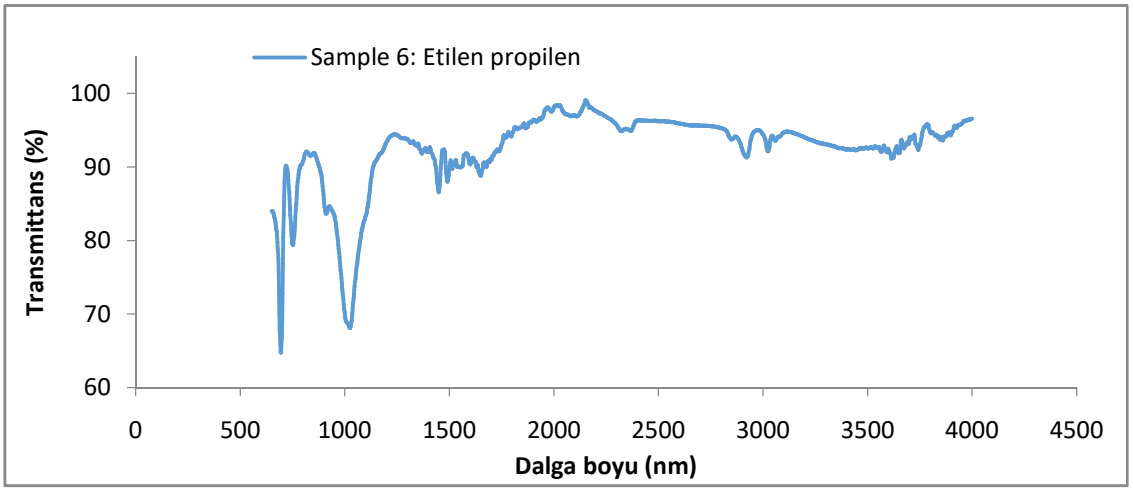
(a)



(b)

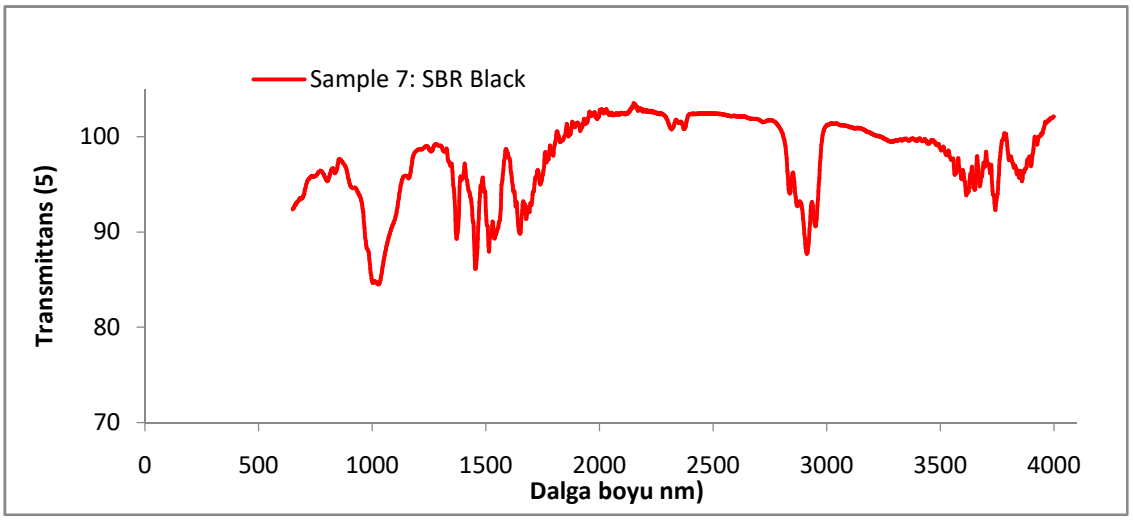


(c)

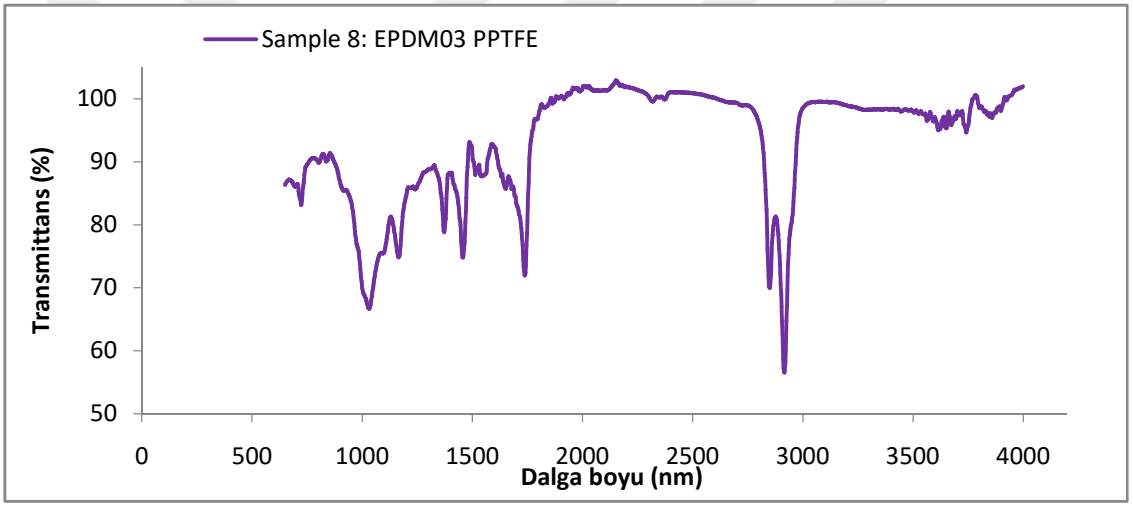


Şekil 4.26 Mikroplastik kimyasal tür spektraları

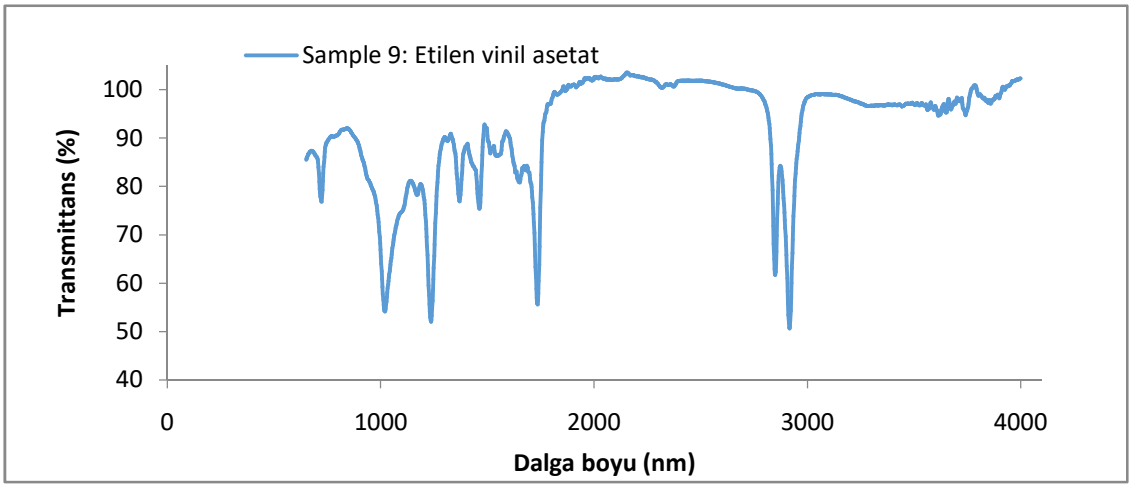
(a)



(b)



(c)



Şekil 4.27 Mikroplastik kimyasal tür spektraları

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Genel Değerlendirme

Son yıllarda tüm su kaynaklarını ve ekosistemi bütüncül olarak etkileyen mikroplastik kirliliği elbette ki Marmara Denizi'nde de gözlenmiştir ve gerçekleştirilen bu tez çalışması ile tüm İstanbul kıyılarında deniz yüzey suyunda iki mevsim boyunca (Eylül 2020- Aralık 2020) mevsimsel ve uzamsal olarak izlenmiştir. Toplam 46 istasyonda mikroplastik örneklemesi yapılan bu tez çalışmasında, istasyonlar genel olarak 5 kategori altında değerlendirilmiştir. Mikroplastik açısından önem arz eden denize dökülen derelerden (STR), deniz deşarjı (SD) ve derin deniz deşarjı (DSD) yapılan noktalardan tez kapsamında numuneler alınmıştır. Örnekleme yapılacak istasyonlara sosyal faaliyetlerin etkilerini tespit etmeye yönelik olan marinalar (MRN) ve deniz yolcu taşımacılığının gerçekleştirildiği iskeleler (PIER) de dahil edilmiştir.

Deniz yüzey suyundan manta net ile alınan numunelerin mevsimsel değişimine bakıldığında özellikle STR istasyonları yüksek MP konsantrasyonları dolayısıyla dikkat çekmektedir. STR-6 istasyonunda kış mevsiminde en yüksek MP konsantrasyonları gözlenmiştir. Sonbahar mevsiminde en yüksek MP konsantrasyonu Eminönü Karaköy iskele istasyonunda (PIER-2) gözlenirken, Ambarlı Deresi'nin denize döküldüğü nokta da (STR-3) ikinci en yoğun MP kirliliği gözlenen istasyon olmuştur. Sonbahar mevsiminde ayrıca Marmara Denizi-Boğaz girişinde bulunan MS istasyonunda da yüksek konsantrasyonlar gözlemlenmiştir. Sonbahar mevsiminde toplam 9 istasyonda kilometrekare başına 1 milyonun üzerinde MP tespit edilmiştir. Bu istasyonlar, yukarda bahsi geçen en yoğun istasyonlara ek olarak Beşiktaş iskelesi (PIER-4), Küçüksu derin deniz deşarjı (DSD-4), Kadıköy derin deniz deşarjı (DSD-2), Kağıthane Deresi (STR-6), İstmarin İstinye Tarabya tekne parkı (MRN-7) ve Alibeyköy Deresidir (STR-5). Kış mevsiminde STR-6 istasyonunda en yüksek MP tespit edilmiştir ve

diğer yoğun istasyonlar Üsküdar iskelesi (PIER-3), Üsküdar derin deniz deşarjı (DSD-3), STR-5, Göksu Deresi (STR-8), Küçüksu Deresi (STR-7), DSD-4, Yenikapı Derin Deşarjı (DSD-1), STR-3, PIER-4 ve Haliç (EST)'dir.

Deniz yüzey suyunda iki mevsimdeki standart sapmalar ile birlikte ortalama konsantrasyonlara bakıldığında, sonbahar mevsiminde 1.252.649,8 ± 3.451.951,1 MP/km^2 ve kış mevsiminde 3.661.516,0 ± 15.449.816,0 MP/km^2 değerleri elde edilmiştir. Çalışma boyunca MP tespit edilemeyen hiçbir istasyon söz konusu olmayıp en düşük MP konsantrasyonları 31.825,7 MP/km^2 değerinde sonbahar mevsiminde Bostancı Deniz Otobüsü İskelesinde (PIER-5) tespit edilmiştir.

Elde edilen tüm mevsimsel verilerden görüldüğü üzere, bazı spesifik istasyonlar hariç diğer istasyonlarda MP yoğunluğu mevsimsel olarak çok farklılık göstermiştir. Bu değişikliğin sebebi İstanbul Boğazı'na Karadeniz'den gelen yüzey akıntısının etkisiyle ise MP'lerin aktif olarak taşınımı ile ilişkili olabileceği düşünülmüştür.

Deniz yüzey suyunda 1-5 mm arası boyuta sahip fragment türü MP'lerin özellikle MRN, STR ve PIER istasyonlarında baskın olduğu gözlenirken, SD ve DSD istasyonlarında filament türü MP'lerde yoğun olarak tespit edilmiştir. Film türü MP'ler diğer yayın rastlanan MP'ler olarak tespit edilmişken, granül/pelet ve köpük türü MP'ler ise yüzdesel olarak oldukça düşük bulunmuştur.

FTIR analiz sonuçlarına göre su yüzeyinden izole edilen mikroplastiklerin yüzdesel oranları %43 polietilen, %22 polipropilen, %12 yüksek yoğunluklu polietilen, %10 polistiren, %4 natural latex rubber, %3 etilen propilen, %2'lik oranlarda SBR Black (kauçuk türü), EPDM 03 PPTFE (etilen propilen kauçuk ve teflon kaplı) ve etilen vinil asetat kopolimeri tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Bu yüksek lisans tezi kapsamında elde edilen tüm veriler Marmara Denizi'nin özellikle İstanbul kıyılarında ve Boğazda ciddi bir mikroplastik kirliliği olduğunu göstermektedir. Mikroplastik kirliliği bölgesel bir sorun olmayıp tüm Dünya'yı etkileyen evrensel bir problemdir ve bu problemin üstesinden gelinmesi kısa

vadede mümkün görünmemektedir. Üstelik sucul ortamlardan ve denizlerden mikroplastik partiküllerinin temizlenebilmesi için henüz uygun bir teknoloji mevcut değildir. Bu nedenle bireysel ve yönetimsel açıdan uygulanabilecek en mantıklı yaklaşım makro plastiklere yönelmek olacaktır.

Tahmin edileceği gibi ekosistemdeki (mikro)plastik kirliliğinin yönetimindeki ilk adım, üretim düzeyinde çeşitli temiz üretim ve iyi yönetim uygulamalarına başlamaktadır. Çevredeki plastik kirliliğini azaltmak için dikkate alınabilecek üç ana uygulama sırasıyla plastik kullanımını cam, geri dönüştürülmüş veya biyolojik olarak parçalanabilen malzemeler gibi alternatiflerle değiştirmek (1), daha uzun ürün ömürlü, daha az plastik polimer ve katkı maddesi içeren daha iyi tasarım stratejileri ve programları oluşturmak ve geri dönüştürülebilir plastik malzemelerin kullanımına odaklanmak (2) ve tek kullanımlık plastikleri yasaklamak için politikalar uygulamaktır (3).

Bu stratejiler hayata geçirilirken çeşitli kısıtlamalar söz konusu olabilir. Örneğin geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı, ham malzemelere kıyasla pahalı olabilir. Bununla birlikte, geri dönüştürülebilir malzemelerin belirli bir yüzdesinin (%10'a kadar) uygulanması zorunlu düzeyde veya halktan ilham alınarak teşvik edilebilir. Ayrıca plastik ürünlerin üretimlerinin başlangıcından yaşamlarının sonuna kadar bir yaşam döngüsü değerlendirmesinin (LCA) uygulanması, yönetim stratejilerini destekleyerek ekolojik etkilerinin izlenmesine yardımcı olabilir. Üretimden sonraki adım, gereksiz ambalajlardan kaçınarak plastik tüketiminin azaltılması, ürünlere güvenilir etiketleme eklenerek çevre dostu alternatiflerin desteklenmesi, halkın ve yeni nesillerin bilinçlendirilmesinden oluşmaktadır. Bilindiği üzere plastik poşetlerin kullanımı esas olarak Avrupa'da yasaklanmıştır veya bazı ülkelerde vergilendirilmektedir, bu da plastik poşet tüketiminde Avrupa ülkelerinde %74'e ve Portekiz'de %90'a varan bir azalmaya neden olmaktadır. Ayrıca, eğitim ve kamu bilinci (mikro)plastik yönetiminde temel anahtarlardır. Medyadaki yayın ve haberlerin son yıllarda özellikle 2016 yılında önemli ölçüde artmasıyla birlikte sosyal medyanın kamuoyu farkındalığının artmasında önemli bir rol oynadığı fark edilmiştir.

Şehirlerde entegre atık yönetimi stratejilerine geçiş yapılması önem arz etmektedir. Entegre bir atık yönetim sisteminin uygulanması, çevreye atılan plastiklerin azalmasıyla sonuçlanacak ve bu da plastiklerin MP'lere parçalanmasını azaltacaktır. Bilindiği gibi atık yönetiminde 4R kuralı uygulanmaktadır: Azalt (Reduse), Yeniden Kullan (Reuse), Geri Dönüştür (Recycle) ve Geri Kazan (Recover). Bununla birlikte, 4R uygulaması bazı gelişmekte olan ülkelerde uygulanamayacak kadar yavaş ve pahalı bir süreçtir. Böyle bir durumda atık yönetimi, depolama ve yakma ile sınırlandırılabilir. Son olarak, (mikro)plastik küresel bir sorundur ve yoksul ülkelerde bilgi ve altyapı sağlamak için uluslararası işbirliğine ihtiyaç vardır. Bu nedenle, (mikro)plastik yönetiminde mevzuat ve politikaların rolü çok önemlidir. Mevcut politikalara bir göz atıldığında, mikro boncuk tipi MP'lerin Avustralya hükümeti ve endüstrisinin yanı sıra, üretimlerini yasaklayan Kanada parlamentosu tarafından kontrol altına alındığı görülmektedir. ABD Federal Hükümeti ise, kozmetik ürünlerde mikro boncuk kullanımına karşı hareket eden mikro boncuksuz bir program uygulamaktadır. Öte yandan, Dünya Koruma Birliği, Greenpeace, Dünya Yaban Hayatı Fonu gibi sivil toplum kuruluşları (STK'lar) da, özellikle deniz çöpleri ve okyanuslar açısından halk topluluğundaki etkili rolleri nedeniyle listeye alınmıştır. Ayrıca, STK etkisi (mikro)plastik yönetimine ilişkin belirli düzenlemelerin ve politikaların uygulanmasına da yansımıştır. Mevzuatların konunun yeniliği nedeniyle MP'lere ilişkin gerekli çevresel verilerden ve niteliksel bilgilerden yoksun olduğuna şüphe yoktur. Etkili bir plastik yönetim programının geliştirilmesi, üretici, tüketici ve hükümete odaklanmalıdır. Üretici ile ilgili olarak, mevzuat, üretim bütçesini ve nihai üründeki plastiğin saflığını etkileyecek büyük miktarlarda geri dönüştürülmüş malzeme ihtiyacını dikkate alarak geri dönüştürülmüş plastik malzemelerin kullanımını desteklemelidir. Politikalar, biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerin ve çevreye daha az zararlı etkileri olan kısa kalıcılık süresine sahip olduğu bilinen biyo plastiklerin kullanımını teşvik etmelidir. Tüketici faktörüne geçerken, halkın başarılı bir etkin yönetim planının parçası olmadan önce daha önce bahsedilen 3R uygulamalarının farkında olması gerekir. Son olarak, hükümetler yeni protokoller uygulayan ve plastik malzemeleri insan sağlığı ve çevre üzerindeki

etkilerine göre yeniden sınıflandıran yönetim programlarının hem ulusal hem de uluslararası yönlerini takip etmelidir. Plastiğin tehlikeli maddeler olarak sınıflandırılması ve ilgili analiz, izleme ve deşarj limit standartlarının belirlenmesi ve bunlara harfiyen uyulması gerekmektedir. Son olarak, ülkelerin çabalarını gezegeni koruyan uluslararası bir izleme sisteminde toplamak için ciddi bir çaba gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen evrensel ölçekte alınması gereken önlem ve uygulamalara ek olarak Marmara Denizi İstanbul kıyıları özelinde mikroplastik kirliliği ile baş edebilmek için alınması gereken önlem ve uygulamalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- İstanbul'da kara kökenli plastiklerin kontrolsüz olarak denize ulaşmasını önlemek için gerekli atık yönetim stratejilerini benimsemek son derece önemlidir. İlk aşamada karasal kökenli plastiklerin yağış, sel vb. doğal meteorolojik olaylarla yüzeysel akışa geçerek denize ulaşmasının önüne geçilmelidir. Bu kapsamda kanal sonlarına makro plastikleri yakalayabilecek ağ vb. teknolojilerin uygulanması gerekmektedir. Diğer yandan bu tez kapsamında en yoğun MP içeren istasyonların denize dökülen dere ağızlarında olduğu düşünüldüğünde Marmara Denizi'ne dökülen derelere mutlaka makro atıkları yakalamak için ağlar ve çeşitli atık yakalama ekipmanlarının kurulumu ivedi bir şekilde gerçekleştirilmelidir.

- Deniz turizminde ve şehirlerarası deniz yolcu taşımacılığında gerekli bilgilendirmelerin kamu spotu veya uyarılarla yapılması ve farkındalığın bireylere kazandırılması gerekmektedir. Mikroplastik örnekleme sürecinde manta ağına takılan pek çok plastiğin kasıtlı veya kasıtsız olarak denize atıldığı/düşürüldüğü düşünüldüğünde bu aşama oldukça gereklidir.

- 2021 yılında yaşanan müsilaj olayında etkili olduğu gibi mikroplastik kirliliğinde de önemli bir kaynak olan Boğaz'a ve Marmara Denizi'ne deniz deşarjı ve derin deniz deşarj sistemleri ile ön arıtılmış atıksuların deşarjının gerekli arıtma tesisi revizyonları ile biyolojik ve tam arıtmaya evrilmesi ve arıtma tesislerine yüksek verimlerde mikroplastik yakalama/tutma potansiyeli olan ünitelerin eklenmesi gerekmektedir.

- Pek çok sosyal faaliyetin gerçekleştirildiği marinalarda plastik atıkların etkin bir şekilde toplanması ve denize ulaşımın önlenmesine ek olarak teknelerden kaynaklanan boya dökülmeleri vb. problemlerin gerekli bakım ve uygulamalarla minimum düzeye indirilmesi gerekmektedir.

- Haliç'ten alınan numunelerde özellikle Alibeyköy ve Kağıthane Derelerinin Haliç'e döküldüğü noktalarda en yüksek MP konsantrasyonlarının tespit edildiği göz önünde bulundurularak hali hazırda Haliç'te dip çamurunun taranarak ve susuzlaştırılarak bertaraf edilmesine ek olarak Haliç yüzey suyundaki mikroplastiklerin de elimine edilmesi Boğaz'a ulaşacak MP miktarlarını önemli ölçüde azaltacaktır. Ayrıca özellikle Kağıthane Deresi'nin kritik lokasyonlarında mikroplastiklerin örneklenmesi ve potansiyel kaynakların tespit edilerek gerekli önlemlerinin alınması gerekmektedir. Bahsi geçen bu dere ağızlarına (mikro)plastik yakalama potansiyeli kazandırılmış ekipman ve ağların kurulumu ve takibi Haliç'e ulaşacak (mikro)plastiklerin azaltılmasında son derece önemlidir.

KAYNAKÇA

[1] Teuten, E.L. Rowland, S.J. Galloway, T.S. ve Thompson, R.C., (2007). "Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants", Environmental science & technology, 41: 7759-7764.

[2] Moore, C.J., (2008). "Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat", Environmental research, 108: 131-139.

[3] Rocha-Santos, T. ve Duarte, A.C., (2015). "A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment", TrAC Trends in Analytical Chemistry, 65: 47-53.

[4] Anderson, Z.T. Cundy, A.B. Croudace, I.W. Warwick, P.E. Celis-Hernandez, O. ve Stead, J.L., (2018). "A rapid method for assessing the accumulation of microplastics in the sea surface microlayer (SML) of estuarine systems", Scientific reports, 8: 1-11.

[5] Andrady, A.L., (2011). "Microplastics in the marine environment", Marine pollution bulletin, 62: 1596-1605.

[6] Eriksen, M. Mason, S. Wilson, S. Box, C. Zellers, A. Edwards, W. Farley, H. ve Amato, S., (2013). "Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes", Marine pollution bulletin, 77: 177-182.

[7] Lassen, C. Hansen, S.F. Magnusson, K. Norén, F. Hartmann, N.I.B. Jensen, P.R. Nielsen, T.G. ve Brinch, A., (2015). "Microplastics-Occurrence, effects and sources of", Significance, 2: 2.

[8] Gago, J. Carretero, O. Filgueiras, A.V. ve Viñas, L., (2018). "Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments", Marine Pollution Bulletin, 127: 365-376.

[9] ScicenceDirect, (2022). Available at: https://www.sciencedirect.com/search?qs=Microplastics%3B%20Turkey&show=50. Accessed.

[10] Güven, O. Gökdağ, K. Jovanović, B. ve Kıdeyş, A.E., (2017). "Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish", Environmental pollution, 223: 286-294.

[11] Gündoğdu, S. ve Çevik, C., (2017). "Micro-and mesoplastics in Northeast Levantine coast of Turkey: The preliminary results from surface samples", Marine Pollution Bulletin, 118: 341-347.

[12] Gündoğdu, S. Çevik, C. Ayat, B. Aydoğan, B. ve Karaca, S., (2018). "How microplastics quantities increase with flood events? An example

from Mersin Bay NE Levantine coast of Turkey", Environmental pollution, 239: 342-350.

[13] Gündoğdu, S., (2018). "Contamination of table salts from Turkey with microplastics", Food Additives & Contaminants: Part A, 35: 1006-1014.

[14] Tunçer, S. Artüz, O.B. Demirkol, M. ve Artüz, M.L., (2018). "First report of occurrence, distribution, and composition of microplastics in surface waters of the Sea of Marmara, Turkey", Marine Pollution Bulletin, 135: 283-289.

[15] Carpenter, E.J. Anderson, S.J. Harvey, G.R. Miklas, H.P. ve Peck, B.B., (1972). "Polystyrene spherules in coastal waters", Science, 178: 749-750.

[16] Carpenter, E.J. ve Smith Jr, K., (1972). "Plastics on the Sargasso Sea surface", Science, 175: 1240-1241.

[17] Fendall, L.S. ve Sewell, M.A., (2009). "Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers", Marine pollution bulletin, 58: 1225-1228.

[18] Galloway, T. ve Thompson, R., (2011). "Accumulations of microplastic on shorelines worldwide, sources and sinks", Environmental Science and Technology, 45: 91759179.

[19] Depledge, M. Galgani, F. Panti, C. Caliani, I. Casini, S. ve Fossi, M., (2013). "Plastic litter in the sea", Marine Environmental Research, 92: 279-281.

[20] Browne, M.A. Rochman, C.M. Browne, M. Halpern, B. Hentschel, B. Hoh, E. ve Thompson, R., (2013). "Policy: Classify plastic waste as hazardous", Nature, 494: 169-171.

[21] Masura, J. Baker, J. Foster, G. ve Arthur, C., (2015). "Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments".

[22] Gerdts, G., (2019). "Defining the BASElines and standards for Microplastics ANalyses in European waters: Final report Project BASEMAN".

[23] GESAMP, G., (2019). "Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter in the Ocean", GESAMP Reports Stud., 99.

[24] Ryan, P.G., (1988). "The characteristics and distribution of plastic particles at the sea-surface off the southwestern Cape Province, South Africa", Marine Environmental Research, 25: 249-273.

[25] McDermid, K.J. ve McMullen, T.L., (2004). "Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago", Marine Pollution Bulletin, 48: 790-794.

[26] Yamashita, R. ve Tanimura, A., (2007). "Floating plastic in the Kuroshio current area, western North Pacific Ocean", Marine Pollution Bulletin, 4: 485-488.

[27] Ogi, H. Baba, N. Ishihara, S. ve Shibata, Y., (1999). "Sampling of plastic pellets by two types of neuston net and plastic pollution in the sea", Bulletin of the Faculty of Fisheries-Hokkaido University (Japan).

[28] Ogi, H. ve Fukumoto, Y., (2000). "A sorting method for small plastic debris floating on the sea surface and stranded on sandy beaches", Bulletin of the Faculty of Fisheries-Hokkaido University (Japan).

[29] Moore, C.J. Moore, S.L. Leecaster, M.K. ve Weisberg, S.B., (2001). "A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre", Marine Pollution Bulletin, 42: 1297-1300.

[30] Ng, K. ve Obbard, J.P., (2006). "Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment", Marine pollution bulletin, 52: 761-767.

[31] Costa, M.F. Ivar do Sul, J.A. Silva-Cavalcanti, J.S. Araújo, M.C.B. Spengler, Â. ve Tourinho, P.S., (2010). "On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach", Environmental monitoring and assessment, 168: 299-304.

[32] Browne, M.A. Galloway, T.S. ve Thompson, R.C., (2010). "Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines", Environmental science & technology, 44: 3404-3409.

[33] Hidalgo-Ruz, V. Gutow, L. Thompson, R.C. ve Thiel, M., (2012). "Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification", Environmental science & technology, 46: 3060-3075.

[34] Boerger, C.M. Lattin, G.L. Moore, S.L. ve Moore, C.J., (2010). "Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre", Marine Pollution Bulletin, 60: 2275-2278.

[35] Aloy, A.B. Vallejo Jr, B.M. ve Juinio-Meñez, M.A., (2011). "Increased plastic litter cover affects the foraging activity of the sandy intertidal gastropod Nassarius pullus", Marine Pollution Bulletin, 62: 1772-1779.

[36] Farrell, P. ve Nelson, K., (2013). "Trophic level transfer of microplastic: Mytilus edulis (L.) to Carcinus maenas (L.)", Environmental pollution, 177: 1-3.

[37] Foekema, E.M. De Gruijter, C. Mergia, M.T. van Franeker, J.A. Murk, A.J. ve Koelmans, A.A., (2013). "Plastic in north sea fish", Environmental science & technology, 47: 8818-8824.

[38] Cole, M. Webb, H. Lindeque, P.K. Fileman, E.S. Halsband, C. ve Galloway, T.S., (2014). "Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms", Scientific reports, 4: 1-8.

[39] Zobkov, M. ve Esiukova, E., (2018). "Microplastics in a Marine Environment: Review of Methods for Sampling, Processing, and Analyzing Microplastics in Water, Bottom Sediments, and Coastal Deposits".

[40] do Sul, J.A.I. ve Costa, M.F., (2014). "The present and future of microplastic pollution in the marine environment", Environmental pollution, 185: 352-364.

[41] Ogunola, O.S. Onada, O.A. ve Falaye, A.E., (2018). "Mitigation measures to avert the impacts of plastics and microplastics in the marine environment (a review)", Environmental Science and Pollution Research, 25: 9293-9310.

[42] Yang, D. Shi, H. Li, L. Li, J. Jabeen, K. ve Kolandhasamy, P., (2015). "Microplastic pollution in table salts from China", Environmental science & technology, 49: 13622-13627.

[43] Iñiguez, M.E. Conesa, J.A. ve Fullana, A., (2017). "Microplastics in Spanish table salt", Scientific reports, 7: 1-7.

[44] Karami, A. Golieskardi, A. Keong Choo, C. Larat, V. Galloway, T.S. ve Salamatinia, B., (2017). "The presence of microplastics in commercial salts from different countries", Scientific reports, 7: 1-11.

[45] Dichtl, N., (2018). Microplastics Pollution in Aquatic Systems – Problems and Solutions, ed^eds. International Workshop On Linking Water Security To The Sustainable Development Goals. Sao Paulo, Brazil.

[46] Crawford, C.B. ve Quinn, B., (2016). Microplastic pollutants: Elsevier Limited.

[47] Shah, A.A. Hasan, F. Hameed, A. ve Ahmed, S., (2008). "Biological degradation of plastics: a comprehensive review", Biotechnology advances, 26: 246-265.

[48] Rios, L.M. Moore, C. ve Jones, P.R., (2007). "Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment", Marine Pollution Bulletin, 54: 1230-1237.

[49] Andrady, A.L., (2003). Plastics and the Environment: John Wiley & Sons.

[50] PlasticsEurope, E., (2016). "Plastics—The Facts 2019. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data", Plast. Eur.

[51] Andrady, A.L. ve Neal, M.A., (2009). "Applications and societal benefits of plastics", Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364: 1977-1984.

[52] Bakir, A. Rowland, S.J. ve Thompson, R.C., (2012). "Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment", Marine Pollution Bulletin, 64: 2782-2789.

[53] Freinkel, S., (2011). Plastic: a toxic love story: Text Publishing.

[54] Wright, S.L. Thompson, R.C. ve Galloway, T.S., (2013). "The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review", Environmental pollution, 178: 483-492.

[55] Hirai, H. Takada, H. Ogata, Y. Yamashita, R. Mizukawa, K. Saha, M. Kwan, C. Moore, C. Gray, H. ve Laursen, D., (2011). "Organic

micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches", Marine pollution bulletin, 62: 1683-1692.

[56] Europe, P., (2015). An analysis of European latest plastics production, demand and waste data, ed^eds.

[57] PlasticsEurope, E., (2019). "Plastics—The Facts 2019. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data", Plast. Eur.

[58] Muenmee, S. Chiemchaisri, W. ve Chiemchaisri, C., (2015). "Microbial consortium involving biological methane oxidation in relation to the biodegradation of waste plastics in a solid waste disposal open dump site", International Biodeterioration & Biodegradation, 102: 172-181.

[59] Laglbauer, B.J. Franco-Santos, R.M. Andreu-Cazenave, M. Brunelli, L. Papadatou, M. Palatinus, A. Grego, M. ve Deprez, T., (2014). "Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia", Marine Pollution Bulletin, 89: 356-366.

[60] Carman, V.G. Machain, N. ve Campagna, C., (2015). "Legal and institutional tools to mitigate plastic pollution affecting marine species: Argentina as a case study", Marine Pollution Bulletin, 92: 125-133.

[61] Jambeck, J.R. Geyer, R. Wilcox, C. Siegler, T.R. Perryman, M. Andrady, A. Narayan, R. ve Law, K.L., (2015). "Plastic waste inputs from land into the ocean", Science, 347: 768-771.

[62] Neufeld L Stassen F Sheppard R ve T., G., (2016). "The New Plastics Economy Rethinking the future of plastics".

[63] Bejgarn, S. MacLeod, M. Bogdal, C. ve Breitholtz, M., (2015). "Toxicity of leachate from weathering plastics: An exploratory screening study with Nitocra spinipes", Chemosphere, 132: 114-119.

[64] Zarfl, C. ve Matthies, M., (2010). "Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic?", Marine Pollution Bulletin, 60: 1810-1814.

[65] Reisser, J. Shaw, J. Wilcox, C. Hardesty, B.D. Proietti, M. Thums, M. ve Pattiaratchi, C., (2013). "Marine plastic pollution in waters around Australia: characteristics, concentrations, and pathways", PloS one, 8: e80466.

[66] Ryan, P.G. Moore, C.J. Van Franeker, J.A. ve Moloney, C.L., (2009). "Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment", Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364: 1999-2012.

[67] Lebreton, L.-M. Greer, S. ve Borrero, J.C., (2012). "Numerical modelling of floating debris in the world's oceans", Marine Pollution Bulletin, 64: 653-661.

[68] Law, K.L. Morét-Ferguson, S. Maximenko, N.A. Proskurowski, G. Peacock, E.E. Hafner, J. ve Reddy, C.M., (2010). "Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre", Science, 329: 1185-1188.

[69] Miranda-Urbina, D. Thiel, M. ve Luna-Jorquera, G., (2015). "Litter and seabirds found across a longitudinal gradient in the South Pacific Ocean", Marine Pollution Bulletin, 96: 235-244.

[70] Breivik, K. Sweetman, A. Pacyna, J.M. ve Jones, K.C., (2002). "Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners—a mass balance approach: 2. Emissions", Science of The Total Environment, 290: 199-224.

[71] Davis, A. Sims, D. ve Sims, D., (1983). Weathering of polymers: Springer Science & Business Media.

[72] Cooper, D.A. ve Corcoran, P.L., (2010). "Effects of mechanical and chemical processes on the degradation of plastic beach debris on the island of Kauai, Hawaii", Marine Pollution Bulletin, 60: 650-654.

[73] McKeen, L.W., (2009). The effect of creep and other time related factors on plastics and elastomers: Elsevier.

[74] Browne, M.A. Galloway, T. ve Thompson, R., (2007). "Microplastic--an emerging contaminant of potential concern?", Integrated environmental assessment and Management, 3: 559-561.

[75] Claessens, M. Van Cauwenberghe, L. Vandegehuchte, M.B. ve Janssen, C.R., (2013). "New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms", Marine Pollution Bulletin, 70: 227-233.

[76] Dekiff, J.H. Remy, D. Klasmeier, J. ve Fries, E., (2014). "Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney", Environmental pollution, 186: 248-256.

[77] Liebezeit, G. ve Dubaish, F., (2012). "Microplastics in beaches of the East Frisian islands Spiekeroog and Kachelotplate", Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 89: 213-217.

[78] Frias, J.P. Otero, V. ve Sobral, P., (2014). "Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters", Marine Environmental Research, 95: 89-95.

[79] Thompson, R.C. Olsen, Y. Mitchell, R.P. Davis, A. Rowland, S.J. John, A.W. McGonigle, D. ve Russell, A.E., (2004). "Lost at sea: where is all the plastic?", Science, 304: 838-838.

[80] Cole, M. Lindeque, P. Halsband, C. ve Galloway, T.S., (2011). "Microplastics as contaminants in the marine environment: a review", Marine pollution bulletin, 62: 2588-2597.

[81] Betts, K., (2008). Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans, ed ^ eds.: ACS Publications.

[82] Gregory, M.R., (1996). "Plastic ‘scrubbers’ in hand cleansers: a further (and minor) source for marine pollution identified", Marine pollution bulletin, 32: 867-871.

[83] Zitko, V. ve Hanlon, M., (1991). "Another source of pollution by plastics: skin cleaners with plastic scrubbers", Marine pollution bulletin, 22: 41-42.

[84] Patel, M.M. Goyal, B.R. Bhadada, S.V. Bhatt, J.S. ve Amin, A.F., (2009). "Getting into the brain", CNS drugs, 23: 35-58.

[85] Rochman, C.M., (2015). The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment, ed. Marine anthropogenic litter. Springer, Cham, 117-140.

[86] LI, W.C. Tse, H. ve Fok, L., (2016). "Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects", Science of The Total Environment, 566: 333-349.

[87] Mark, A. Phillip, C. ve Stewart, J., (2011). "Accumulations of Micro Plastic on Shorelines Worldwide: Sources and Winks. Computer Aided Optimum Design of Structures VIII", Environ. Sci. Technol, 45: 9175-9179.

[88] Engelhardt, A., (2009). "A world survey on textile and nonwovens industry", The Fiber Year 2008, 9.

[89] Zheng, Y. Yanful, E.K. ve Bassi, A.S., (2005). "A review of plastic waste biodegradation", Critical reviews in biotechnology, 25: 243-250.

[90] Barnes, D.K. Galgani, F. Thompson, R.C. ve Barlaz, M., (2009). "Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments", Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364: 1985-1998.

[91] Corcoran, P.L. Biesinger, M.C. ve Grifi, M., (2009). "Plastics and beaches: a degrading relationship", Marine pollution bulletin, 58: 80-84.

[92] Browne, M.A., (2015). "Sources and pathways of microplastics to habitats", Marine anthropogenic litter: 229-244.

[93] Derraik, J.G., (2002). "The pollution of the marine environment by plastic debris: a review", Marine pollution bulletin, 44: 842-852.

[94] O'Brine, T. ve Thompson, R.C., (2010). "Degradation of plastic carrier bags in the marine environment", Marine pollution bulletin, 60: 2279-2283.

[95] Andrady, A.L., (2015). Plastics and environmental sustainability: John Wiley & Sons.

[96] Frias, J. Sobral, P. ve Ferreira, A.M., (2010). "Organic pollutants in microplastics from two beaches of the Portuguese coast", Marine Pollution Bulletin, 60: 1988-1992.

[97] Karapanagioti, H.K. Endo, S. Ogata, Y. ve Takada, H., (2011). "Diffuse pollution by persistent organic pollutants as measured in plastic pellets sampled from various beaches in Greece", Marine Pollution Bulletin, 62: 312-317.

[98] Morét-Ferguson, S. Law, K.L. Proskurowski, G. Murphy, E.K. Peacock, E.E. ve Reddy, C.M., (2010). "The size, mass, and composition of plastic

debris in the western North Atlantic Ocean", Marine Pollution Bulletin, 60: 1873-1878.

[99] Rochman, C.M. Browne, M.A. Halpern, B.S. Hentschel, B.T. Hoh, E. Karapanagioti, H.K. Rios-Mendoza, L.M. Takada, H. Teh, S. ve Thompson, R.C., (2013). "Classify plastic waste as hazardous", Nature, 494: 169-171.

[100] Sadri, S.S. ve Thompson, R.C., (2014). "On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England", Marine Pollution Bulletin, 81: 55-60.

[101] Lee, H. Shim, W.J. ve Kwon, J.-H., (2014). "Sorption capacity of plastic debris for hydrophobic organic chemicals", Science of The Total Environment, 470: 1545-1552.

[102] Nielsen, T.D. Hasselbalch, J. Holmberg, K. ve Stripple, J., (2020). "Politics and the plastic crisis: A review throughout the plastic life cycle", Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 9: e360.

[103] Borrelle, S.B. Ringma, J. Law, K.L. Monnahan, C.C. Lebreton, L. McGivern, A. Murphy, E. Jambeck, J. Leonard, G.H. ve Hilleary, M.A., (2020). "Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution", Science, 369: 1515-1518.

[104] Lau, W.W. Shiran, Y. Bailey, R.M. Cook, E. Stuchtey, M.R. Koskella, J. Velis, C.A. Godfrey, L. Boucher, J. ve Murphy, M.B., (2020). "Evaluating scenarios toward zero plastic pollution", Science, 369: 1455-1461.

[105] Hardesty, B.D. Lawson, T. van der Velde, T. Lansdell, M. ve Wilcox, C., (2017). "Estimating quantities and sources of marine debris at a continental scale", Frontiers in Ecology and the Environment, 15: 18-25.

[106] Lynn, H. Rech, S. ve Samwel, M., (2016). "Plastics, gender and the environment. Life cycle of plastics and its impacts on women and men from production to (marine) litter", Women Engage for a Common Future International.

[107] Blettler, M.C. Abrial, E. Khan, F.R. Sivri, N. ve Espinola, L.A., (2018). "Freshwater plastic pollution: Recognizing research biases and identifying knowledge gaps", Water Research, 143: 416-424.

[108] Lebreton, L. Van Der Zwet, J. Damsteeg, J.-W. Slat, B. Andrady, A. ve Reisser, J., (2017). "River plastic emissions to the world's oceans", Nature communications, 8: 1-10.

[109] Hurley, R. Woodward, J. ve Rothwell, J.J., (2018). "Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding", Nature Geoscience, 11: 251-257.

[110] Hasan, M.K. Shahriar, A. ve Jim, K.U., (2019). "Water pollution in Bangladesh and its impact on public health", Heliyon, 5: e02145.

[111] Hopewell, J. Dvorak, R. ve Kosior, E., (2009). "Plastics recycling: challenges and opportunities", Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364: 2115-2126.

[112] Baak, J.E. Provencher, J.F. ve Mallory, M.L., (2020). "Plastic ingestion by four seabird species in the Canadian Arctic: comparisons across species and time", Marine pollution bulletin, 158: 111386.

[113] Barboza, L.G.A. Vethaak, A.D. Lavorante, B.R. Lundebye, A.-K. ve Guilhermino, L., (2018). "Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health", Marine pollution bulletin, 133: 336-348.

[114] Beaumont, N.J. Aanesen, M. Austen, M.C. Börger, T. Clark, J.R. Cole, M. Hooper, T. Lindeque, P.K. Pascoe, C. ve Wyles, K.J., (2019). "Global ecological, social and economic impacts of marine plastic", Marine pollution bulletin, 142: 189-195.

[115] Eerkes-Medrano, D. Thompson, R.C. ve Aldridge, D.C., (2015). "Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs", Water Research, 75: 63-82.

[116] Law, K.L., (2017). "Plastics in the marine environment", Annual review of marine science, 9: 205-229.

[117] Lima, A. Costa, M. ve Barletta, M., (2014). "Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary", Environmental research, 132: 146-155.

[118] Thushari, G.G.N. Chavanich, S. ve Yakupitiyage, A., (2017). "Coastal debris analysis in beaches of Chonburi Province, eastern of Thailand as implications for coastal conservation", Marine pollution bulletin, 116: 121-129.

[119] Thushari, G.G.N. Senevirathna, J.D.M. Yakupitiyage, A. ve Chavanich, S., (2017). "Effects of microplastics on sessile invertebrates in the eastern coast of Thailand: an approach to coastal zone conservation", Marine pollution bulletin, 124: 349-355.

[120] do Sul, J.A.I. Costa, M.F. Barletta, M. ve Cysneiros, F.J.A., (2013). "Pelagic microplastics around an archipelago of the Equatorial Atlantic", Marine pollution bulletin, 75: 305-309.

[121] Thompson, R. Moore, C. Andrady, A. Gregory, M. Takada, H. ve Weisberg, S., (2005). "New directions in plastic debris", Science, 310: 1117-1117.

[122] Moore, C.J. Moore, S.L. Weisberg, S.B. Lattin, G.L. ve Zellers, A.F., (2002). "A comparison of neustonic plastic and zooplankton abundance in southern California's coastal waters", Marine pollution bulletin, 44: 1035-1038.

[123] Athawuda, A. Jayasiri, H. Jayamanne, S. Weerakoon, W. Thushari, G. ve Guruge, K., (2018). "Plastic litter enumeration and characterization in coastal water, off Colombo, Sri Lanka": NARA.

[124] Lee, J. Hong, S. Song, Y.K. Hong, S.H. Jang, Y.C. Jang, M. Heo, N.W. Han, G.M. Lee, M.J. ve Kang, D., (2013). "Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea", Marine pollution bulletin, 77: 349-354.

[125] Redford, D.P. Trulli, H.K. ve Trulli, W.R., (1997). Sources of plastic pellets in the aquatic environment, ed. Marine Debris. Springer, 335-343.

[126] Cawthorn, M., (1989). "Impacts of marine debris on wildlife in New Zealand coastal waters".

[127] Good, T.P. June, J.A. Etnier, M.A. ve Broadhurst, G., (2010). "Derelict fishing nets in Puget Sound and the Northwest Straits: Patterns and threats to marine fauna", Marine pollution bulletin, 60: 39-50.

[128] Lopez Lozano, R. ve Mouat, J., (2009). "Marine litter in the Northeast Atlantic Region: assessment and priorities for response".

[129] Walker, T. Reid, K. Arnould, J.P. ve Croxall, J., (1997). "Marine debris surveys at Bird Island, South Georgia 1990–1995", Marine pollution bulletin, 34: 61-65.

[130] Cunningham, D. ve Wilson, S.P., (2003). "Marine debris on beaches of the Greater Sydney Region", Journal of Coastal Research: 421-430.

[131] Ribic, C.A. Sheavly, S.B. Rugg, D.J. ve Erdmann, E.S., (2010). "Trends and drivers of marine debris on the Atlantic coast of the United States 1997–2007", Marine pollution bulletin, 60: 1231-1242.

[132] Edyvane, K. Dalgetty, A. Hone, P. Higham, J. ve Wace, N., (2004). "Long-term marine litter monitoring in the remote Great Australian Bight, South Australia", Marine pollution bulletin, 48: 1060-1075.

[133] Thompson, R.C., (2015). Microplastics in the marine environment: sources, consequences and solutions, ed. Marine anthropogenic litter. Springer, Cham, 185-200.

[134] Lusher, A., (2015). Microplastics in the marine environment: distribution, interactions and effects, ed. Marine anthropogenic litter. Springer, Cham, 245-307.

[135] Programme, U.R.S. Plan, U.M.A. Wastes, S.o.t.B.C.o.t.C.o.T.M.o.H. Disposal, T. Office, U.G.C. ve Commission, I.O., (2005). "Marine litter: An analytical overview".

[136] van der Wal, M. van der Meulen, M. Tweehuijsen, G. Peterlin, M. Palatinus, A. ve Kovac Viršek, M., (2015). "SFRA0025: Identification and assessment of riverine input of (Marine) litter", Report for Michail Papadoyannakis, DG Environment, United Kingdom, 186.

[137] Wright, S.L. Rowe, D. Thompson, R.C. ve Galloway, T.S., (2013). "Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms", Current Biology, 23: R1031-R1033.

[138] Gray, J.S., (1997). "Marine biodiversity: patterns, threats and conservation needs", Biodiversity & Conservation, 6: 153-175.

[139] Gall, S.C. ve Thompson, R.C., (2015). "The impact of debris on marine life", Marine pollution bulletin, 92: 170-179.

[140] Hong, S. Lee, J. Jang, Y.C. Kim, Y.J. Kim, H.J. Han, D. Hong, S.H. Kang, D. ve Shim, W.J., (2013). "Impacts of marine debris on wild animals in the coastal area of Korea", Marine pollution bulletin, 66: 117-124.

[141] Thompson, R.C. Moore, C.J. Vom Saal, F.S. ve Swan, S.H., (2009). "Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends", Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364: 2153-2166.

[142] Zarfl, C. Fleet, D. Fries, E. Galgani, F. Gerdts, G. Hanke, G. ve Matthies, M., (2011). "Microplastics in oceans", Marine pollution bulletin, 62: 1589-1591.

[143] Collignon, A. Hecq, J.-H. Glagani, F. Voisin, P. Collard, F. ve Goffart, A., (2012). "Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea", Marine pollution bulletin, 64: 861-864.

[144] Lithner, D. Larsson, Å. ve Dave, G., (2011). "Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition", Science of The Total Environment, 409: 3309-3324.

[145] Teuten, E.L. Saquing, J.M. Knappe, D.R. Barlaz, M.A. Jonsson, S. Björn, A. Rowland, S.J. Thompson, R.C. Galloway, T.S. ve Yamashita, R., (2009). "Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife", Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364: 2027-2045.

[146] Oehlmann, J. Schulte-Oehlmann, U. Kloas, W. Jagnytsch, O. Lutz, I. Kusk, K.O. Wollenberger, L. Santos, E.M. Paull, G.C. ve Van Look, K.J., (2009). "A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife", Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364: 2047-2062.

[147] Rios, L.M. Jones, P.R. Moore, C. ve Narayan, U.V., (2010). "Quantitation of persistent organic pollutants adsorbed on plastic debris from the Northern Pacific Gyre's “eastern garbage patch”", Journal of Environmental Monitoring, 12: 2226-2236.

[148] Rosevelt, C. Los Huertos, M. Garza, C. ve Nevins, H., (2013). "Marine debris in central California: Quantifying type and abundance of beach litter in Monterey Bay, CA", Marine pollution bulletin, 71: 299-306.

[149] Cole, M. Lindeque, P. Fileman, E. Halsband, C. Goodhead, R. Moger, J. ve Galloway, T.S., (2013). "Microplastic ingestion by zooplankton", Environmental science & technology, 47: 6646-6655.

[150] Thushari, G.G.N. ve Senevirathna, J.D.M., (2020). "Plastic pollution in the marine environment", Heliyon, 6: e04709.

[151] Ten Brink, P. Lutchman, I. Bassi, S. Speck, S. Sheavly, S. Register, K. ve Woolaway, C., (2009). Guidelines on the use of market-based instruments to address the problem of marine litter: Institute for European Environmental Policy (IEEP), Sheavly Consultants.

[152] Chiappone, M. White, A. Swanson, D.W. ve Miller, S., (2002). "Occurrence and biological impacts of fishing gear and other marine debris in the Florida Keys", Marine Pollution Bulletin, 44: 597-604.

[153] UNEP, U., (2011). "Waste–Investing in energy and resource efficiency", Towards a green economy, 44.

[154] Thevenon, F. Carroll, C. ve Sousa, J., (2014). "Plastic debris in the ocean: the characterization of marine plastics and their environmental impacts, situation analysis report", Gland, Switzerland: IUCN, 52.

[155] Dias, B. ve Lovejoy, T.E., (2012). "Impacts of marine debris on biodiversity: current status and potential solutions", CBD Technical Series, 67: 11-26.

[156] Chen, C.-L., (2015). Regulation and management of marine litter, ed. Marine anthropogenic litter. Springer, Cham, 395-428.

[157] Costa, M.F. ve Barletta, M., (2015). "Microplastics in coastal and marine environments of the western tropical and sub-tropical Atlantic Ocean", Environmental Science: Processes & Impacts, 17: 1868-1879.

[158] Costa, M. ve Barletta, M., (2016). "Special challenges in the conservation of fishes and aquatic environments of South America", Journal of fish biology, 89: 4-11.

[159] Barletta, M. Lima, A.R. ve Costa, M.F., (2019). "Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries", Science of The Total Environment, 651: 1199-1218.

[160] Mudgal, S. Muehmel, K. Hoa, E. ve Grémont, M., (2012). Options to improve the biodrgradability requirements in the Packaging Directive, ed^eds.: DG Environment–European Commission.

[161] Balkis, N. Atabay, H. Türetgen, I. Albayrak, S. Balkis, H. ve Tüfekçi, V., (2011). "Role of single-celled organisms in mucilage formation on the shores of Buyukada Island (the Marmara Sea)", Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 91: 771.

[162] Beşiktepe, Ş.T. Sur, H.I. Özsoy, E. Latif, M.A. O□uz, T. ve Ünlüata, Ü., (1994). "The circulation and hydrography of the Marmara Sea", Progress in Oceanography, 34: 285-334.

[163] Toklu-Alicli, B. Balkis-Ozdelice, N. Durmus, T. ve Balci, M., (2021). "Relationship between environmental factors and zooplankton diversity in the Gulf of Bandırma (the Sea of Marmara)", Biologia, 76: 1727-1736.

[164] Balkis-Ozdelice, N. Durmus, T. Toklu-Alicli, B. ve Balci, M., (2020). "Phytoplankton composition related to the environmental conditions in the coastal waters of the Gulf of Erdek".

[165] Taşdemir, Y., (2002). "Marmara denizi: Kirleticiler ve çevre açısından alınabilecek tedbirler".

[166] Balkis, N., (2003). "Seasonal variations in the phytoplankton and nutrient dynamics in the neritic water of Büyükçekmece Bay, Sea of Marmara", Journal of Plankton Research, 25: 703-717.

[167] Öztürk, İ. ve Şeker, M., "Marmara Deniz Ekolojisi; Deniz Salyası Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri".

[168] Gürkan, Y. ve Yüksek, A., (2021). "Microplastics in Turkish Straits System: A Case Study of the Bays and Straits", Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 22.

[169] Lares, M. Ncibi, M.C. Sillanpää, M. ve Sillanpää, M., (2018). "Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology", Water research, 133: 236-246.

[170] Gies, E.A. LeNoble, J.L. Noël, M. Etemadifar, A. Bishay, F. Hall, E.R. ve Ross, P.S., (2018). "Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada", Marine Pollution Bulletin, 133: 553-561.

[171] Tien, C.-J. Wang, Z.-X. ve Chen, C.S., (2020). "Microplastics in water, sediment and fish from the Fengshan River system: Relationship to aquatic factors and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by fish", Environmental pollution, 265: 114962.

[172] Kataoka, T. Nihei, Y. Kudou, K. ve Hinata, H., (2019). "Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan", Environmental pollution, 244: 958-965.

[173] Donoso, J.M. ve Rios-Touma, B., (2020). "Microplastics in tropical Andean rivers: A perspective from a highly populated Ecuadorian basin without wastewater treatment", Heliyon, 6: e04302.

[174] Chubarenko, I. ve Stepanova, N., (2017). "Microplastics in sea coastal zone: Lessons learned from the Baltic amber", Environmental pollution, 224: 243-254.

[175] PlasticsEurope, E., (2016). "Plastics—the facts 2016", An analysis of European latest plastics, 570.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. Seren Karacam, Betul Takatas, Nouha Bakaraki Turan, Hanife Sari Erkan, Guleda Onkal Engin, “Microplastic pollution in wastewater sea discharge and deep sea discharge stations into the Marmara Sea and the Bosphorus”, Eurasia Waste Management Symposium-2022, 24-26 Ekim 2022.