



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



Yüksek Lisans Tezi

**İSTANBUL BOĞAZI SEDİMENTİNDE MİKROPLASTİK
KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Batuhan OLGUNER

Biyoloji Anabilim Dalı

Hidrobiyoloji Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Ayşegül MÜLAYİM

II. DANIŞMAN

Doç. Dr. Serda KECEL GÜNDÜZ

Aralık, 2021

İSTANBUL

Bu çalışma, Tarih girmek için burayı tıklatın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
.....nda olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Unvan Adı SOYADI(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

İntihal Programı Beyanı

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Proje Destekleri

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 36426 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Tezden Üretilmiş Yayınların Künye Bilgileri

--

ÖNSÖZ

İstanbul Boğazı Sedimentinde Mikroplastik Kirliliğinin İncelenmesi başlıklı bu tez çalışması boğazın yüzey sedimentindeki mikroplastik kirliliğini mikroskobik ve spektroskopik yöntemlerle inceleyerek bölgedeki mikroplastik kirliliğinin güncel durumunu ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca her konuda desteğini esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Ayşegül MÜLAYİM'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmadaki spektroskopik incelemeleri şartları zorlayarak yapmamda yardımcı ve destek olan ikinci danışman hocam Doç. Dr. Serda KECEL GÜNDÜZ'e,

Raman analizlerine yaptığı katkılardan dolayı Arş. Gör. Dr. Bilge BIÇAK ve analizlerim boyunca laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayan Dr. Öğr. Üyesi Emre YEMİŞKEN'e ve Doktora Öğrencisi Mert KESİKTAŞ'a ve arazi çalışmasındaki yardımlarından dolayı Elif YÜCEDAĞ'a,

Harita hazırlamamda ve çalışmanın genelinde her türlü desteğiyle yanımda olan Dersu DİZMAN'a,

Analizlerim sırasında lojistik desteklerini esirgemeyen Mert GERÇEK, Mete GODOLLAR ve Onur ERBİL'e,

Erasmus programım boyunca mikroplastik kirliliği ile ilgili önemli deneyimler kazanmamda büyük katkısı olan Hamburg Üniversitesi Mikroplastik Çalışma Grubu yürütücüsü Dr. Elke FISCHER ve diğer tüm çalışma grubu üyelerine,

Ve son olarak desteklerini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Aralık 2021

Batuhan OLGUNER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	4
2.1. İSTANBUL BOĞAZI VE HİDROGRAFİK ÖZELLİKLERİ	4
2.2. PLASTİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	5
2.3. PLASTİK ÇEŞİTLERİ	5
2.3.1. Termoset Plastikler	7
2.3.2. Termoplastikler.....	7
2.3.2.1. Polistiren (PS)	7
2.3.2.2. Akronitril Butadien Stiren (ABS)	8
2.3.2.3. Polietilen (PE)	8
2.3.2.4. Polikarbonat (PC)	8
2.3.2.5. Polietilen Tereftalat (PET)	8
2.3.2.6. Polipropilen (PP).....	9
2.3.2.7. Polivinil Klorür (PVC)	9
2.3.2.8. Polimetil Metakrilat (PMMA).....	9
2.4. DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE PLASTİK SEKTÖRÜ	9
2.5. MİKROPLASTİK TANIMI.....	11
2.6. MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ VE KAYNAKLARI	11
2.7. MİKROPLASTİKLER İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	12
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	16
3.1. İSTANBUL BOĞAZI'NDA ÖRNEKLEME YAPILAN İSTASYONLAR	16
3.2. MİKROPLASTİK ANALİZ YÖNTEMİ.....	17
3.3. MİKROPLASTİKLERİN SAYIM VE SINIFLANDIRILMASI	18

3.4. SAPTANAN MİKROPLASTİKLERİN RAMAN İLE KARAKTERİZASYONU	18
3.5. İSTATİSTİKSEL ANALİZ	19
4. BULGULAR.....	20
4.1. İSTANBUL BOĞAZI YÜZEY SEDİMENT ÖRNEKLERİNDE BELİRLENEN MİKROPLASTİKLERİN ŞEKİL VE RENKLERİNE GÖRE DAĞILIMI	20
4.2. İSTANBUL BOĞAZI YÜZEY SEDİMENT ÖRNEKLERİNDE SAPTANAN MİKROPLASTİKLERİN İSTASYONLARDAKİ DAĞILIMI	21
4.3. İSTANBUL BOĞAZI YÜZEY SEDİMENT ÖRNEKLERİNDEN ELDE EDİLEN MİKROPLASTİK PARTİKÜLLERİNİN BOYUTLARINA GÖRE DAĞILIMI	36
4.4. YÜZEY SEDİMENTİNDE BELİRLENEN MİKROPLASTİK PARTİKÜLLERİN SPEKTROSKOPİK İNCELENMESİ.....	37
4.5. ELDE EDİLEN MİKROPLASTİKLERE AİT İSTATİSTİKSEL ANALİZLER.....	40
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	42
KAYNAKLAR.....	48
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: İstanbul Boğazı'nda örnek alınan istasyonlar.	16
Şekil 4.1: İstanbul Boğazı yüzey sediment örneklerinde belirlenen mikroplastiklerin toplam sayıları ve istasyonlardaki dağılımı	21
Şekil 4.2: Eminönü istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.....	22
Şekil 4.3: Eminönü istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 12.5X yakınlaştırma/siyah fibril, B. 6.3X yakınlaştırma/mavi fibril, C. 10X yakınlaştırma/mavi fragment, D. 7X yakınlaştırma/şeffaf fibril, E. 2.25X yakınlaştırma/siyah fibril, F. 16X yakınlaştırma/kırmızı fibril (Ölçek: 5 mm).....	22
Şekil 4.4: Karaköy istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.....	22
Şekil 4.5: Karaköy istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 6.3X yakınlaştırma/mavi fibril, B. 10X yakınlaştırma/siyah fibril, C. 9X yakınlaştırma/şeffaf fibril, D. 5.5X yakınlaştırma/kırmızı fibril (Ölçek: 5 mm).	23
Şekil 4.6: Kabataş istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.....	23
Şekil 4.7: Kabataş istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A: 12.5X yakınlaştırma/şeffaf fibril, B: 6.3X yakınlaştırma/siyah fibril, C: 4X yakınlaştırma/şeffaf fibril (Ölçek: 5 mm).....	24
Şekil 4.8: Beşiktaş istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.....	24
Şekil 4.9: Beşiktaş istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 8X yakınlaştırma/şeffaf fibril, B. 4X yakınlaştırma/siyah fibril, C. 16X yakınlaştırma/siyah fibril, D. 16X yakınlaştırma/kırmızı fragment, E. 10X yakınlaştırma/mavi fragment (Ölçek: 5 mm).	25
Şekil 4.10: Ortaköy istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.....	25
Şekil 4.11: Ortaköy istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 16X yakınlaştırma/renksiz fibril, B. 12.5X yakınlaştırma/mavi fragment, C. 16X yakınlaştırma/siyah fibril, D. 16X yakınlaştırma/siyah fibril (Ölçek 5 mm).	26
Şekil 4.12: Kandilli istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.....	26

Şekil 4.13: Kandilli istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 13.5X yakınlaştırma/siyah fibril, B. 8X yakınlaştırma/şeffaf fibril, C. 16X yakınlaştırma/mavi fibril (Ölçek: 5 mm).....	27
Şekil 4.14: Bebek istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.....	27
Şekil 4.15: Bebek istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 10X yakınlaştırma/mavi fibril, B. 3.2X yakınlaştırma/kırmızı fibril, C. 6.1X yakınlaştırma/siyah fibril, D. 5.8X yakınlaştırma/şeffaf fibril (Ölçek: 5 mm).	28
Şekil 4.16: Anadolu Hisarı istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.	28
Şekil 4.17: Anadolu Hisarı istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 10X yakınlaştırma/şeffaf fibril, B. 5.2X yakınlaştırma/siyah fibril, C. 5.4X yakınlaştırma/kırmızı fibril, D. 12.7X yakınlaştırma/şeffaf fibril, E. 10X yakınlaştırma/mavi fragment (Ölçek: 5 mm).	29
Şekil 4.18: Kanlıca istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.....	29
Şekil 4.19: Kanlıca istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 9X yakınlaştırma/siyah fibril, B. 10X yakınlaştırma/şeffaf fibril, C. 5X yakınlaştırma/mavi fibril (Ölçek 5 mm).....	30
Şekil 4.20: İstinye istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.....	30
Şekil 4.21: İstinye istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 3.2X yakınlaştırma/kırmızı fibril, B. 11.5X yakınlaştırma/siyah fibril, C. 10X yakınlaştırma/mavi fibril, D. 7.5X yakınlaştırma/mavi fibril, E. 9X yakınlaştırma/şeffaf fibril, F. 9X yakınlaştırma/kırmızı fragment (Ölçek: 5 mm).....	30
Şekil 4.22: Paşabahçe istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.	31
Şekil 4.23: Paşabahçe istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 10X yakınlaştırma/siyah fibril, B. 9X yakınlaştırma/şeffaf fibril, C. 1.5X yakınlaştırma/şeffaf fibril (Ölçek 5 mm).....	31
Şekil 4.24: Beykoz istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.....	32
Şekil 4.25: Beykoz istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 6.3X yakınlaştırma/mavi fibril, B. 10X yakınlaştırma/şeffaf fibril, C. 5X yakınlaştırma/siyah fibril, D. 12X yakınlaştırma/şeffaf fibril (Ölçek: 5 mm).	32
Şekil 4.26: Büyükdere istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.	33

Şekil 4.27: Büyükdere istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A: 3.2X yakınlaştırma/siyah fibril, B: 8X yakınlaştırma/mavi fibril, C: 5X yakınlaştırma/şeffaf fibril (Ölçek: 5 mm).....	33
Şekil 4.28: Anadolu feneri istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.	34
Şekil 4.29: Anadolu feneri istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 16X yakınlaştırma/kırmızı fibril, B. 10X yakınlaştırma/mavi fibril, C. 10X yakınlaştırma/şeffaf fibril, D. 16X yakınlaştırma/siyah fragment, E. 3.2X yakınlaştırma/siyah fibril, F. 10X yakınlaştırma/mavi fragment (Ölçek: 5 mm).....	34
Şekil 4.30: Rumeli feneri istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.	35
Şekil 4.31: Rumeli feneri istasyonundan elde edilen mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri A. 10X yakınlaştırma/kırmızı fibril, B. 9X yakınlaştırma/mavi fibril, C. 12.5X yakınlaştırma/şeffaf fibril, D. 16X yakınlaştırma/siyah fibril (Ölçek: 5 mm).	35
Şekil 4.32: İstanbul Boğazı yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastik partiküllerinin boyutlarına göre dağılımı.....	36
Şekil 4.33: Anadolu feneri istasyonunda belirlenen kırmızı fragmente ait Raman spektrumu	37
Şekil 4.34: Anadolu feneri istasyonunda belirlenen sarı fragmente ait Raman spektrumu	37
Şekil 4.35: Rumeli feneri istasyonunda belirlenen mavi fibrile ait Raman spektrumu	37
Şekil 4.36: Anadolu feneri istasyonunda belirlenen mavi fibrile ait Raman spektrumu	38
Şekil 4.37: Anadolu feneri istasyonunda belirlenen kırmızı fragmente ait Raman spektrumu	38
Şekil 4.38: Anadolu feneri istasyonunda belirlenen mavi fibrile ait Raman spektrumu	38
Şekil 4.39: Beşiktaş istasyonunda belirlenen mavi fragmente ait Raman spektrumu.....	38
Şekil 4.40: Rumeli feneri istasyonunda belirlenen mavi fibrile ait Raman spektrumu	39
Şekil 4.41: Eminönü istasyonunda belirlenen mavi fragmente ait Raman spektrumu	39
Şekil 4.42: Eminönü istasyonunda belirlenen mavi fragmente ait Raman spektrumu	39
Şekil 4.43: Eminönü istasyonunda belirlenen kırmızı fibrile ait Raman spektrumu	40
Şekil 4.44: Öklid mesafesi ile istasyonların birbirleri ile mikroplastiklerin renk, şekil ve birikim yakınlıklarına göre gruplandırılması. (1. Eminönü, 2. Karaköy, 3. Kabataş, 4. Beşiktaş, 5. Ortaköy, 6. Kandilli, 7. Bebek, 8. Anadolu Hisarı, 9. Kanlıca, 10.	

İstinye, 11. Paşabahçe, 12. Beykoz, 13. Büyükdere, 14. Anadolufeneri, 15. Rumelifeneri).....40

Şekil 4.45: Çok boyutlu ölçekleme (MDS) göre istasyonların gruplandırılması. (1. Eminönü, 2. Karaköy, 3. Kabataş, 4. Beşiktaş, 5. Ortaköy, 6. Kandilli, 7. Bebek, 8. Anadolu Hisarı, 9. Kanlıca, 10. İstinye, 11. Paşabahçe, 12. Beykoz, 13. Büyükdere, 14. Anadolufeneri, 15. Rumelifeneri).....41

Şekil 5.1: İstanbul Boğazı yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklerin polimer dağılımları.....46



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Plastik türlerinin adı, kısaltmaları ve kullanım alanları (Yurtsever, 2015).....	6
Tablo 3.1: İstanbul Boğazı'ndan örnek alınan istasyonlara ait koordinat ve derinlik bilgileri.	17
Tablo 4.1: İstanbul Boğazı yüzey sediment örneklerinde belirlenen mikroplastiklerin şekil ve renklerine göre dağılımı (15 gr/kuru sediment)	20
Tablo 5.1: Türkiye'de ve dünyada farklı bölgelerde sedimentte yapılmış mikroplastik kirliliği çalışmaları.....	45

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
----------	----------

g	: Gram
kg	: Kilogram
mm	: Milimetre
µm	: Mikrometre
%	: Yüzde
cm	: Santimetre
°	: Derece

Kisaltmalar	Açıklama
-------------	----------

PPS	: Polifenilen sülfid
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen tereftalat
PEG	: Polietilen glikol
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil klorür
PP	: Polipropilen
PC	: Polikarbonat
PMMA	: Polimetil metakrilat
ABS	: Akronitril Butadien Stiren
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
GESAMP	: Deniz Çevresinin Korunmasının Bilimsel Yönleri Hakkında Ortak Uzman Grubu
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
ASM	: Amerikan Metal Derneği
SPREP	: Pasifik Bölgesel Çevre Programı Sekreterliği
PAGEV	: Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL BOĞAZI SEDİMENTİNDE MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Batuhan OLGUNER

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Ayşegül MÜLAYİM

II. Danışman : Doç. Dr. Serda KECEL GÜNDÜZ

İstanbul Boğazı yüzey sedimentindeki mikroplastik kirliliğini incelemeyi amaçladığımız bu çalışmada Ekim 2020 tarihinde, İstanbul Boğazı'nda 15 istasyondan yüzey sediment örnekleri alınmıştır. Bu örneklerin analizleri sonucunda elde edilen mikroplastikler şekil, boyut, renk ve polimer tiplerine göre incelenmiştir. Yüzey sedimentinde saptanan en düşük mikroplastik kirliliği miktarı (865,8 partikül/kg) Karaköy istasyonunda, en yüksek mikroplastik kirliliği miktarı (4195,8 partikül/kg) Anadoluferi istasyonunda belirlenmiştir. Baskın partikül şeklinin fibril (%97) olduğu çalışmada, 0-1 mm boyutundaki partiküllerin oranı %51,80 olarak saptanmıştır. Bazı mikroplastik partiküllerin polimer yapısını belirlemek için Raman spektroskopisi kullanılmıştır. Belirlenen partiküller arasında baskın olan polimer tipi PPS olmuştur.

Aralık 2021, 71.. sayfa.

Anahtar kelimeler: İstanbul Boğazı, deniz kirliliği, sedimentte mikroplastik, Raman spektroskopisi

SUMMARY

M.Sc. THESIS

EXAMINATION OF MICROPLASTIC POLLUTION ON SEDIMENT AT İSTANBUL STRAIT

Batuhan OLGUNER

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Biology

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ayşegül MÜLAYİM

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Serda KECEL GÜNDÜZ

In this study which it is aimed to examine the microplastic pollution in the surface sediment of the İstanbul Strait, surface sediment samples were taken from 15 different stations along the strait in October 2020. The microplastics particles obtained as a result of the analysis of these samples were classified and examined according to their shape, size, color and polymer types. While the lowest amount of microplastic pollution (865.8 particles/kg) detected at Karaköy station, the highest amount of microplastic pollution (4195.8 particles/kg) was determined at Anadolufeneri station. In this study, where the predominant particles shape was fiber (97%), the ratio of 0-1 mm particles were found to be 51.80%. Raman spectroscopy was used to determine the polymer structure of some microplastic particles. Among the particles identified, the dominant polymer type was PPS.

December 2021, 71. pages.

Keywords: İstanbul Strait, marine pollution, microplastic in sediment, Raman spectroscopy

1. GİRİŞ

Endüstrinin tüketim odaklı üretimi çevre kirliliğini arttırırken, deniz ve okyanuslar da bu kirlilikten payını almaktadır. Deniz ve okyanus kirliliği sorunu yıllar içerisinde katlanarak büyümektedir. Bu kirleticilerden plastikler, günümüzün en büyük çevresel sorunlarından birisidir.

Plastikler sentetik ya da yarı sentetik olabilen, yüksek molekül kütleli ve uzun polimerik zincirli moleküllerden yapılmış bileşiklerdir. Karbon, hidrojen, nitrojen, oksijen, klor ve bromür gibi elementlerden oluşan, doğada çözünmeye oldukça dayanıklı olan plastikler, tekstil, otomotiv ve ambalaj sanayiinde, neredeyse tüm elektronik cihazlarda, çeşitli donanımlarda ve mobilya üretimi gibi sektör ve alanlarda; hafif, dayanıklı, uygun fiyatlı ve kalıplanabilir olmalarından dolayı sıklıkla tercih edilmektedirler (Bahl ve diğ., 2020).

Okyanuslardaki plastik kirliliği bilimsel literatürde ilk kez 1970'lerin başında, miktarlarının ve kaynaklarının net bir tahmini olmadan ön görülmüştür (Carpenter ve Smith, 1972). Okyanuslara karışan tüm kirleticilerin miktarının 1975 yılında 6,4 milyon ton olduğu tahmin edilmiştir ve hesaplanan bu miktar yalnızca askeri operasyonlar ve gemi kazalarının atıklarından oluşmaktadır (Jambeck ve diğ., 2015). Yıllık plastik üretimi 2004 yılından bu yana 143 milyon ton artarak 368 milyon tona yükselmiştir (Plastics Europe, 2015; 2020). Bu yükseliş eğiliminin devam edeceği düşünülerek 2050 yılında yıllık plastik üretiminin 1,6 milyar tona kadar ulaşacağı ön görülmektedir (Zheng ve Suh, 2019). Dünyadaki plastik üretim ve tüketiminin hızla artması, plastiklerin ucuz, dayanıklı, hafif, esnek olmaları ve otomotiv, medikal ürünler, ambalaj sanayii gibi birçok sektörde farklı tiplerde kullanılabilmelerinden kaynaklanmaktadır.

Denizel ve kıyısız alanlar, mercan resifleri ve deniz çayırları gibi farklı alt sistemlerden oluşan, primitif organizmalardan yüksek organizmalara kadar zengin biyoçeşitliliğe sahip, yeryüzünün %71'ini kaplayan karmaşık sistemlerdir (Thushari ve Senevirathna, 2020). Ancak deniz çöpleri, deniz ve kıyısız çevredeki doğal güzellikleri bozarak potansiyel turizm ve ekosistem hizmetlerinin önünde bir engel oluşturmaktadır (Maes ve diğ., 2019). Plastik kirliliğinin, denizler başta olmak üzere tüm canlıların yaşamlarındaki olumsuz etkileri günümüzde artık daha iyi bilinmektedir (Beaumont ve diğ., 2019; Welden, 2020; Chowdhury ve diğ., 2021).

Yapılan çalışmalar plastiklerin deniz canlıları tarafından tüketilmesiyle besin zincirine katıldıklarını da göstermiştir (Renzi ve Blaškovića, 2020).

Boyları 100 ile 2,5 cm arasındaki plastikler makro, 0,5 ile 2,5 cm arasındakiler mezo ve 0,1 µm ile 5 mm arasındakiler ise mikroplastikler olarak adlandırılmaktadır (GESAMP, 2015). Mikroplastikler denizel ortamda yalnızca pelajik zonda bulunmazlar. Hem kıyı hem de derin deniz sedimentinde birikebilirler (Guo ve Wang, 2019). Çalışmalar, pelajik türlerin bentik türlerden daha fazla partikül tükettiğini göstermekle birlikte, bentik türlerin pelajik türlere göre daha fazla plastik lifi tükettiğini de ortaya koymuştur (Neves ve diğ., 2015).

Bu çalışmanın amacı pek çok açıdan oldukça önemli bir konumda olan İstanbul Boğazı sedimentindeki mikroplastik kirliliğini ortaya çıkartmaktır. Bu kapsamda boğazda farklı istasyonlardan alınan yüzey sediment örneklerindeki mikroplastik miktarı belirlenmiş ve bentik canlıların yaşam alanı olmasının yanı sıra demersal organizmaların da beslenme, yumurta bırakma ve predatörlerden saklanma alanı olan bentik bölgedeki plastik kirliliği hakkında bilgiler sunulmuştur.

Bu amaçla gerçekleştirilen tezin, 'Genel Kısımlar' bölümünde, çalışma alanı olan İstanbul Boğazı'nın hidrografik özellikleri ve konumu hakkında bilgiler verilmiş, ayrıca plastik ve mikroplastiklerin tanımlarına, özelliklerine ve kaynaklarına değinilerek mikroplastiklerle ilgili dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalar sunulmuştur. 'Malzeme ve Yöntem' bölümünde ise, sediment örneklerinin alındığı istasyonlar tanıtılmış, örnekleme yöntemi, örnekleme sırasında kontaminasyonun kontrolü, örneklerin analizleri yapılabildiği kadar ne şekilde korundukları açıklanmıştır. Yüzey sediment örneklerinde mikroplastiklerin analiz yöntemi verilerek, mikroplastiklerin spektroskopik yöntemlerle karakterizasyon yöntemleri de anlatılmıştır. Elde edilen sonuçların hangi istatistiksel yöntemlerle değerlendirileceği konusunda bilgi verilmiştir. 'Bulgular' bölümünde İstanbul Boğazı'nda sediment örneklerinde belirlenen mikroplastik miktarları her istasyona özel olacak şekilde tablo ve grafiklerle gösterilmiştir. Ayrıca saptanan mikroplastiklerin boyutlarına göre sınıflandırılması grafik ile gösterilmiştir. Belirlenen mikroplastik partiküllerin mikroskop fotoğrafları da eklenmiştir. İstasyonlarda saptanan mikroplastiklerin renk, şekil ve sayıları istatistiksel olarak değerlendirilerek sonuçları grafiklerle açıklanmıştır. 'Tartışma ve Sonuç' bölümünde ise elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda istasyonlar arasındaki benzerlik ve farklılıkların nedenleri

tartışılmış ve bunların olası nedenleri hakkında fikir yürütülmüş olup bu fikirler literatür ile desteklenmiştir. Çalışma boyunca elde edilen bulgular dünyada ve ülkemizde daha önceden yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.



2. GENEL KISIMLAR

2.1. İSTANBUL BOĞAZI VE HİDROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Çanakkale ve İstanbul Boğazları ile Marmara Denizi'nden oluşan 300 km uzunluğundaki Türk Boğazlar Sistemi, Akdeniz ve Karadeniz'i birbirine bağlayan bir köprü görevi görmektedir (Yüce, 1996) ve geçmişten günümüze dünyanın en önemli ticaret yollarından biri olan Türk Boğazlar Sistemi'nin bir parçası olmakla birlikte İstanbul'u iki yakaya ayırmaktadır (Usluer ve Alkan, 2016).

İstanbul Boğazı'nda tıpkı Marmara Denizi'nde olduğu gibi iki tabakalı akıntı sistemi bulunmaktadır. Yüksek tuzluluktaki Akdeniz suları Çanakkale Boğazı'ndan Marmara'ya oradan da Karadeniz'e doğru akmaktadır (Ünlüata ve diğ., 1990). Tuzluluk oranı Marmara Denizi ve Akdeniz'e göre düşük olan Karadeniz suları ise yüzey sularını oluşturmaktadır. Dünyanın en dar boğazı olmakla birlikte 10'dan fazla keskin yön değişimi olan İstanbul Boğazı'nın uzunluğu 32 km olup, kıyı uzunluğu Avrupa Kıtası'nda 55, Asya Kıtası'nda ise 35 km'dir (Usluer ve Alkan, 2016). Boğazın ortalama derinliği yaklaşık 35,8 m olup, en derin bölgesi ise Kandilli ve Bebek arasında 110 m olarak belirlenmiştir (Yüce, 1990).

Karadeniz'e kıyısı olan ülkelere ait yük gemilerinin İstanbul Boğazı'ndan geçişi bu bölgede yoğun bir deniz trafiğine neden olmaktadır. Her geçen yıl artmakta olan deniz trafiği, özellikle tehlikeli madde taşıyan yük gemileri sebebiyle bölgenin çevre kirliliği riskini arttırmaktadır. Birçok keskin dönüşü olan İstanbul Boğazı yük gemileri gibi büyük boyutta gemilerin boğazdan geçişini zorlaştırmaktadır. Son yıllarda yaşanan petrol sızıntıları pek çok ciddi çevre kirliliğine neden olmuştur (Usluer ve Alkan, 2016).

İstanbul Boğazı'ndaki çevre kirliliği yalnızca yük ve petrol gemilerinin geçişi ya da meydana gelen kazalar nedeniyle artış göstermemiştir. Kıyı hattındaki yerleşim alanlarının kapasitenin çok üzerinde olması, sanayi bölgelerinin ve tersanelerin atıkları kirliliğin artmasındaki diğer sebepler olarak gösterilir (Orhon ve diğ., 2021). Kıyılarda bu yerleşime yer açmak için yapılan kıyı doldurma işlemleri de boğaz ekosistemini etkileyen bir başka olumsuz durumdur (Mülayim, 2020).

2.2. PLASTİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Plastikler hidrokarbon monomerlerinden oluşmaktadır (Yüce ve Kılıç, 2014). Yunanca’da “tek parça” anlamına gelen monomerlerin oluşturduğu ve yine Yunanca’da “birden çok parça” anlamına gelen polimerler, plastiklerin en temel bileşikleridir (McKeen, 2018). Polimerizasyon, monomerlerin kimyasal bağlarla birbirlerine bağlanarak daha büyük moleküller oluşturması işlemidir ve karmaşık, organik birleşiklerin polimerizasyonu sonucu, bükülebilen, kalıplanarak şekil verilebilen plastikler oluşur (McKeen, 2018). Monomerler zincir oluşturacak şekilde bağlanarak etilenden polietilene, propilenden polipropilene, stirenden polistirene dönüşmektedir (Yüce ve Kılıç, 2014). Polietilen, polipropilen ve polistiren en çok kullanılan plastiklerin başında gelmektedir (Plastics Europe, 2020). Ayrıca bu plastik tipleri okyanuslarda bulunan kirleticilerin de çoğunluğunu oluşturmaktadır (Erni-Cassola ve diğ., 2019).

Plastiklerin yapısı bazı bitkilerde bulunan doğal reçine ile birçok açıdan benzerdir ve ticari olarak üretilen ilk plastikler yarı sentetik olup selülozdan üretilmiştir. Plastiklerin özelliklerini polimer molekül yapısı ve büyüklüğü belirlemektedir (ASM International, 2003).

2.3. PLASTİK ÇEŞİTLERİ

Yapısal özelliklerine göre iki gruba ayrılan plastiklerin birinci grubu termoset plastikler ikinci grubu ise termoplastiklerdir. Termosetler belirli ısı ve basınca maruz kaldıktan sonra bağları zayıflamayan, dolayısıyla erimeyen, termoplastikler ise belirli ısı ve basınçla tekrar tekrar şekillendirilebilen plastiklerdir (Yüce ve Kılıç, 2014). Plastiklerin çeşitleri ve kullanım alanları Tablo 2.1.'de verilmektedir.

Tablo 2.1: Plastik türlerinin adı, kısaltmaları ve kullanım alanları (Yurtsever, 2015).

Plastik Adı	Kısaltması	Kullanım Alanı
Akrilonitril bütadien stiren	ABS	Elektronik aletler, otomotiv, mutfak gereçleri
Poliamid	PA	Fiber, diş fırçası kılları, misina
Polibütilen tereftalat	PBT	Tekstil, halı
Polikarbonat	PC	Alev yalıtımı ve kendini söndürme özelliği yüksektir. BPA içerebilir. Tıbbi aletler, su şişesi, mutfak gereçleri, CD vb.
Polietilen	PE	Paketleme, plastik mutfak ürünleri, altyapı malzemeleri, oyuncak ve tekstil
Yüksek yoğunluklu polietilen	PE-HD, HDPE	Temizlik maddeleri, çamaşır deterjanı ambalajı, şampuan ve süt şişeleri, borular, tanklar, varil vb.
Düşük yoğunluklu polietilen	PE-LD LDPE	Şişe, dondurulmuş gıda, ekmek ve market poşetleri
Polietilen tereftalat	PET, PETE	Pet şişe ismi bu plastikten gelmektedir. Su, meşrubat ve yemeklik yağ ambalajlarında kullanılır.
Polimetil metakrilat	PMMA	Otomobil farı, optik ekipmanlar, boya, elyaf, iplik ve ev dekorasyon ürünleri
Polyester	PES	Tekstil endüstrisi
Polipropilen	PP	Otomobil yan sanayi, yiyecek kabı, çocuk bezleri, biberon, bahçe mobilyaları
Polistiren	PS	Gıda paketleme, elektronik ve beyaz eşya, kaplar, kapaklar, et ve yumurta kutuları, köpüklü izolasyon, buzdolabı ve çamaşır makinesi parçaları, radyo ve televizyon kasaları
Polietrafloretilen (Teflon)	PTFE	Mutfak gereçleri, kaplar
Genleştirilebilir Polistiren	PS-E EPS	Elektronik, ambalaj, çatı ve cephe yalıtımında, döşeme, depo alanları
Poliüretan	PU, PUR	Dolgu köpükleri, ısı yalıtım köpükleri, yüzey kaplamaları, baskı silindirleri
Polivinil klorid	PVC	Döşeme, dış cephe kaplaması, borular, streç, yiyecek kaplama, şişe, bardak, suni deri, kredi kartı, spor malzemeleri
Poliviniliden klorid	PVDC	Yiyecek paketleme, endüstriyel gereçler

2.3.1. Termoset Plastikler

Termosetin terim anlamı, oda sıcaklığı ya da daha yüksek sıcaklıkta çapraz bağlı yapıya dönüşebilen demektir. Bu plastik türünde polimer zincirleri arasındaki çapraz bağlar sebebiyle malzeme her sıcaklıkta katı olarak bulunur (Yüce ve Kılıç, 2014). İlk kez Dr. Leo Baekeland tarafından 1909 yılında ticari amaçlı geliştirilmiştir. Bu amaçla kullanılan ilk plastik malzeme fenolik bileşik olan bakalittir (PAGEV, 2018). Termoset plastikler farklı amaçlarla kullanılabilen ürünlerdir. Epoksiler kimyasal solüsyonlara oldukça dayanıklı olmalarının yanı sıra kolay şekil alabilirler. Fenolikler ise kalıplanması kolay olmakla birlikte kırılgan, güçlü ve serttirler (PAGEV, 2018). Yüksek sıcaklıkla formunun bozulmaması özelliğinden dolayı termosetler, elektronik çipler, motor içi parçalar gibi endüstrinin çeşitli alanlarında kullanılır (Biron, 2004).

2.3.2. Termoplastikler

Isıtıldıklarında eriyebilen düz veya dallanmış polimerleri olan plastiklere termoplastik adı verilmektedir. Yapılarındaki polimer zincirleri arasında çapraz bağ olmaması nedeniyle, bu güçsüz bağlar sıcaklığın artmasıyla belli bir aşamadan sonra çözülür ve malzeme akışkan bir hal almaya başlar. Bu özelliklerinden dolayı uygun ısı ve basınç uygulanarak geri dönüştürülüp yeniden üretilirler (Yüce ve Kılıç, 2014).

Endüstriyel üretimde 1950'lerden itibaren önemli bir rol oynayan termoplastikler, selüloit olarak 1800'lerin ortasından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Fil dişinin yerini alabilecek bir malzeme olarak kullanılmaya başlanan termoplastikler günümüzde pena üretiminde de kullanılmaktadır (PAGEV, 2018).

2.3.2.1. Polistiren (PS)

Polistiren sıvı stirenin polimerizasyonu ile elde edilen, yoğunluğu $1,03-1,06 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişen plastikler olup kullanım sıcaklığı en fazla 70°C 'dir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Kesintisiz, pürüzsüz yüzeye sahip olmalarının yanı sıra diğer yapı köpüklerine göre düşük yoğunluktadırlar (Landrock, 1995).

2.3.2.2. Akrilonitril Butadien Stiren (ABS)

Direnci yüksek olan camsı yapıda üçlü kopolimerden oluşur (Landrock, 1995). 42-50 MPa arası çekme dayanırlığı sayesinde kimyasallara ve dış etkenlere oldukça dayanıklıdır. Özgül ağırlığı 1,05-1,07 g/cm³ olan ABS'lerde elastisite modülü yoktur ve 75 °C'ye kadar olan ısılarla dayanırlar (Yüce ve Kılıç, 2014).

2.3.2.3. Polietilen (PE)

Daha önceleri sadece düşük yoğunluklu olarak üretilen termoplastiklerin en eski polimerlerinden biri olan polietilenler, günümüzde yüksek yoğunluklu, lineer ve orta yoğunluklu olmak üzere üç farklı türde daha üretilmektedir. Polietilenler asit, baz ve çözücülere son derece dayanıklı olmakla birlikte kolay işlenebilir olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedirler (DPT, 2001; Ronca, 2017).

2.3.2.4. Polikarbonat (PC)

Dihidrik ve polihidrik fenol gruplarının karbon reçineleriyle bağlanma türüne polikarbonat adı verilmektedir. Polikarbonatlar biyokimya laboratuvarlarında sağlam, net ve şeffaf olması gereken parçalarda, bazı elektriksiz ev aletlerinde, bira maşrapaları gibi pek çok alanda kullanılmaktadırlar (DPT, 2001). Polikarbonatların en önemli avantajı kolay renklendirilebilme ve şekillendirilebilmesidir (Yüce ve Kılıç, 2014).

2.3.2.5. Polietilen Tereftalat (PET)

Kullanılabilir en üst sıcaklığı 60 °C olan polietilen tereftalatların yoğunluğu 1,33-1,37 g/cm³'tür. Erime sıcaklıkları 250 °C olan PET'ler açık ya da hafif renkli, yarı saydam ve suda yüzebilir özelliklere sahiptir. Gerilme dayanımları 8.000 psi'dir fakat 30.000 psi'a kadar yükseltmek mümkün olmaktadır. PET şişe reçinelerinde 2,5 ppm'den daha az asetaldehit bulunmaktadır. Asetaldehit miktarının normalden fazla olması içeceğin tadını etkilemektedir. (Yüce ve Kılıç, 2014). Dünyadaki sentetik fibrillerin %40'ını polietilen tereftalatlar oluşturmaktadır (Ravindranath ve Mashelkar, 1984).

2.3.2.6. Polipropilen (PP)

Yüksek saflıktaki propilen gazının basınç altında, Ziegler-Natta katalizörleri yardımıyla radikalik olarak polimerleşmesiyle elde edilen polipropilenler, kristal yapılıdır ve 0,902-0,910 g/cm³ yoğunluktadır. Termoplastiklerin en hafif üyelerinden birisi olup, erime sıcaklığı 164 °C'dir (DPT, 2001).

2.3.2.7. Polivinil Klorür (PVC)

Keşfedilen ilk termoplastiklerden birisi olan PVC'lerin monomerleri etilen ve klordan elde edilen vinil klorürdür. PVC ürünler sert ve yumuşak olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Boru ve profil üretiminde sert PVC'ler kullanılırken, folyo gibi ürünlerin üretiminde yumuşak PVC'ler kullanılmaktadır (DPT, 2001). İçindeki klor atomları sayesinde alev almayan PVC'ler elektrik yalıtımı sağladıklarından elektrik kablolarının yalıtımında ideal malzeme olarak kullanılmaktadırlar. Yüksek performanslı ve nispeten ucuz maliyetli olması sebebiyle otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılır (Yüce ve Kılıç, 2014). PVC'ler çok düşük termal kararlılıkları ve yüksek erime viskozitesi sebebiyle işlenemezler (Patrick, 2005)

2.3.2.8. Polimetil Metakrilat (PMMA)

Camın yarısı kadar ağırlığı olan, kolay çizilebilen ancak çizilme önleyici kaplamalarla bu sorunun üstesinden gelinebilen polimetil metakrilatlar ışığı daha fazla iletmekte ve düşük sıcaklıklarda üretilmektedirler. 100 °C sıcaklıkta kısa sürede yumuşayıp şekillendirilebilecek forma ulaşır (Yüce ve Kılıç, 2014). Polimetil metakrilatlar 1940'lardan beri ortopedi alanında kullanılmakta olup yeni geliştirilen biyomalzemelere rağmen halen yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Jaeblo, 2010).

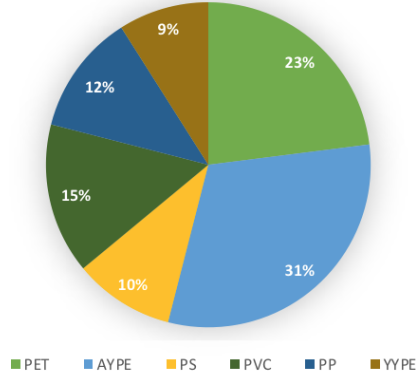
2.4. DÜNYADA VE ÜLKEMİZDE PLASTİK SEKTÖRÜ

1950'lerden günümüze kadar pek çok sektörde kullanılmaya başlayan ve endüstrinin vazgeçilmez bir parçası olan plastikler her yıl daha fazla üretilmektedir. Plastiklerin üretim hacmi 1950 yılında yıllık 1,5 milyon ton iken 2015 yılında 200 kat artarak toplam 325 milyon tona ulaşmıştır (PAGEV, 2016). Bu üretim 2018 yılından 2019 yılına 9 milyon tonluk bir artış göstererek 368 milyon tona ulaşmıştır. Avrupa'daki toplam plastik üretimi ise bu süreçte 61,8 milyon tondan 57,9 milyon tona gerilemiştir (Plastics Europe, 2020). Avrupa'da plastiklerin

kullanım alanları incelendiğinde ambalaj ve paketleme sektörünün en fazla orana sahip olduğu görülmektedir (%39,6). Bu üretimi %20,4 ile inşaat ve yapı malzemeleri izlemektedir. Otomotiv sektöründe ve elektronik ürünler ile ev aletlerinin üretiminde kullanılan plastikler inşaat ve ambalaj sektörünün oldukça gerisinde kalmışlardır (Plastic Soup Foundation, 2019).

Dünyadaki plastik üretim hacmi artışına paralel olarak Türkiye'de de plastik üretimi her sene giderek artmaktadır. Ülkemizdeki üretim 2015-2020 yılları arasında yılda ortalama %3,2 artış göstermiştir. 2020 yılındaki toplam üretim 9,5 milyon ton olarak tahmin edilmektedir (PAGEV, 2020). Günümüzde Türkiye'de üretilen toplam plastik miktarının neredeyse yarısı olan 4 milyon tonu, plastik ambalaj malzemeleri oluşturmaktadır. Ambalaj malzeme üretimini 1,9 milyon ton üretim hacmiyle inşaat malzemeleri takip etmektedir (PAGEV, 2020).

Ülkemizde 2020 yılında üretilen plastiklerin hammaddelerinin polimer tiplerine göre dağılımı Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1: Türkiye'de 2020 yılında üretilen plastik hammaddelerin polimer tiplerine göre dağılımları (PET: Polietilen tereftalat, AYPE: Alçak Yoğunluklu Polietilen, PS: Polistiren, PVC: Polivinil Klorür, PP: Polipropilen, YYPE: Yüksek Yoğunluklu Polietilen) (PAGEV, 2020).

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere Türkiye'de 2020 yılında üretilen plastik hammaddesinin %31'ini alçak yoğunluklu polietilen, %23'ünü polietilen tereftalat, %15'ini polivinil klorür, %12'sini polipropilen, %10'unu polistiren ve %9'unu yüksek yoğunluklu polietilen oluşturmuştur (PAGEV, 2020).

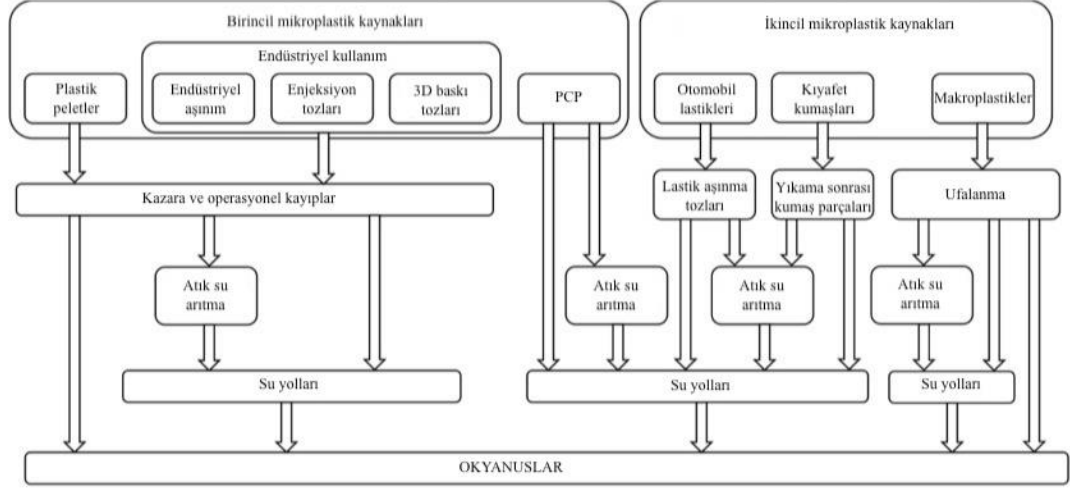
2.5. MİKROPLASTİK TANIMI

Mikroplastik ve mikrokirletici terimleri birçok araştırmacı tarafından farklı şekillerde tanımlanmışlardır. Bazı araştırmacılar 67 μm ile 500 μm arası parçaları mikrokirletici, bundan daha büyük parçaları ise mezokirletici olarak tanımlamışlardır (Gregory ve Andrady, 2003). Bazı araştırmacılar ise 5 mm'den küçük 333 μm alt limitli parçacıkları mikroparçacık olarak adlandırmışlardır (Betts, 2008; Andrady, 2011). Günümüzde boyları 5 mm ile 1 μm arasında olan plastik parçacıkları mikroplastikler olarak kabul edilmektedir. 1 μm 'den küçük parçacıklar ise nanoplastik sınıflandırmasına dahil olmaktadır (GESAMP, 2019). Birincil mikroplastikler 5 mm'nin altında üretilirken, ikincil mikroplastikler ise makroplastiklerin parçalanması ile oluşurlar (Silva ve diğ., 2018; Frias ve Nash, 2019). Mikro boyutlu plastiklerin çevre kirliliği yaratmalarının yanı sıra, organizmalar tarafından tüketildiklerinde, yalnızca fiziksel hasara yol açmakla kalmayarak histopatolojik ve pek çok farklı toksik etkiler de gösterdikleri saptanmıştır (Li ve diğ., 2016; Lubecki ve Kowalewska, 2019).

2.6. MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ VE KAYNAKLARI

Dünya genelinde deniz kirliliğinin yaklaşık %80'ini plastik atıkların oluşturduğu tahmin edilmektedir. Deniz ve okyanuslara her yıl yaklaşık 8 milyon ton plastik materyal katılarak 2015'te toplam 50 milyon ton olduğu tahmin edilen atık miktarının, 2025 yılında 150 milyon tona ulaşacağı ön görülmektedir (Bonanno ve Orlando-Bonaca, 2020). Her boyuttaki plastik atıklar, kıyısal bölgelerden derin denizlere, antropojenik etkileşimin en az olduğu sularda bile bulunmaktadır (Andrady, 2011; Amaral-Zettler ve diğ., 2015; Bergmann ve diğ., 2017).

Birincil mikroplastikler için en dikkat çeken örnek mikroboncuklardır. Kozmetik sektöründe sıklıkla kullanılan mikroboncuklar dünya genelinde Kanada, Fransa, Yeni Zelanda, Güney Kore gibi bazı ülkelerde yasaklanmıştır. Yasaklı ülke sayısının gelecekte artması beklenmektedir (Anagnosti ve diğ., 2021). Mikroplastiklerin karadan okyanuslara doğru izlediği yol Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Mikroplastiklerin karadan okyanuslara doğru izlediği yol (Verster ve Bouwman, 2020).

Şekil 2.2'de görüldüğü üzere akarsular, başta tekstil, ambalaj ve otomotiv gibi sektörler olmak üzere endüstriyel üretim sonucu elde edilen mikroplastikleri, deniz ve okyanuslara taşıyan en önemli ve yaygın yollardır. Ayrıca akarsular, akıntı hızlarına rağmen yoğunluğu suyun yoğunluğundan daha fazla olan partiküllerin, dibe batarak birikmelerine ve zamanla aşınarak dönüşmelerinde de rol oynamaktadır (Derraik, 2002). Günlük hayatta kullanımı oldukça yaygın olan otomobiller ve çamaşır makineleri ise en önemli ikincil mikroplastik üretim araçlarıdır (Kole ve diğ., 2017). Örneğin her yıkamada içeriğinde plastik bazlı kumaş türleri bulunan kıyafetlerden belirli parçalar koparak çamaşır makinelerinin giderlerindeki filtrelerden de geçerek denizlere taşınan ikincil mikroplastiklerin önemli bir kısmını oluşturmaktadırlar (Falco ve diğ., 2019). Bazı akarsuların akış hızlarını belirleyen barajlar da mikroplastik taşınımını suyun akış hızını değiştirdiklerinden dolayı bu taşınımı etkileyen bir başka unsurdur (Verster ve Bouwman, 2020). Atık su arıtma tesislerinde mikroplastiklerin tamamının filtrelenelememesi kirliliğin su kaynaklı diğer yollarından birisidir (Tang ve Hadibarata, 2021).

2.7. MİKROPLASTİKLER İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Mikroplastik kirliliği 1960'ların başından beri rapor edilmiş olsa da son 10 yılda, daha fazla üzerine gidilen ve fark edilen bir araştırma konusu haline gelmiştir. Son dönemlerdeki farkındalık sayesinde denizlerdeki mikroplastik kirliliği konusundaki çalışmaların da sayısı artmakta, tatlı sularda ve karasal ortamlarda da bu ivme yükselerek devam etmektedir. Bu hızlı bilgi artışına rağmen mikroplastiklerin izlenmesi, sınıflandırılması ve çevreye olan etkileri hakkında hala çok sayıda yanıtsız soru bulunmaktadır (Welden, 2020). Dünyada 1965-2013 yılları arasında deniz kirliliği konusunda farklı yaklaşımlardan oluşan makaleler, mikroplastikler bazında son 15 yılda giderek artış göstermektedir (Ryan, 2015).

Hızla artan dünya nüfusuna ek olarak beraberinde gelişen ekonomi ve bunun sonucu olan aşırı tüketim canlıların sağlığında ve doğada ciddi olumsuzluklara sebep olmaktadır (SPREP, 2014). Dünya nüfusunun neredeyse yarısı 150 km'lik bir kıyı hattında yaşamaktadır (UN Atlas of the Oceans, 2014). Bu durum kıyısız alanlar ve denizlerde kirlilik baskısını arttırmaktadır.

Barnes ve diğ., 2009 plastikleri ucuz, hafif, sağlam, uzun ömürlü, korozyona dayanıklı, yüksek ısı ve elektrik yalıtımı özelliği olan materyaller olarak tanımlamışlardır. Büyük boyuttaki çöplerin oluşturduğu deniz kirliliği canlı yaşamını ve doğayı olumsuz etkilese de gözle görülmeyen mikroplastikler, daha farklı boyutlarda çevresel sorunlara yol açmaktadırlar (Thompson ve diğ., 2004; Andrady, 2011; Cole ve diğ., 2011). Wright ve diğ. (2013) çalışmalarında mikroplastiklerin deniz canlılarına ve besin zincirine etkilerini anlamak için daha fazla araştırmanın gerekliliğini vurgulamışlardır. Buna ek olarak denizel ortamdaki mikroplastiklerin kaynağını belirlemenin, deniz çöplerine oranla çok daha zor olduğunu ve bu kirlilik türü ile başa çıkılmasındaki güçlüklerden bahsetmişlerdir. Mikroplastik kirliliğinin neredeyse tüm sulara yayılmış olduğunun bildirilmesinin yanı sıra, bu kirleticilerin deniz canlıları üzerindeki biyolojik etkilerinin yeni yeni açığa çıktığı, boyutlarının küçük olması nedeniyle de deniz canlılarının tümüne yakınında biyolojik bir tehdit oluşturduğu belirtilmektedir (Gregory, 1996; Barnes ve diğ., 2009; Ryan ve diğ., 2009).

Deniz kuşlarının, krustaselerin ve balıkların dahil olduğu denizel biyotadaki canlılar beslenme sırasında mikroplastikleri vücutlarına almaktadırlar (Blight ve Burger, 1997; Tourinho ve diğ., 2010). Boerger ve diğ., 2010 yılında yayımlanan makalelerinde Kuzey Pasifik'te yakalanan ve plankterlerle beslenen mezopelajik balıkların %35'inin bağırsağında plastik madde olduğunu açıklamışlardır. Yine Kuzey Pasifik'te yakalanan 141 mezopelajik balıktan 13'ünün mide içeriğinde mikroplastik bulunmuştur (Davison ve Asch, 2013).

Piyawardhana ve diğ., (2021) insanlar tarafından tüketilen kurutulmuş balık ürünlerindeki mikroplastik kirliliğine dikkat çekmek için yaptıkları çalışmada 7 Asya ülkesinden aldıkları 14 farklı kurutulmuş balık ürününe mikroplastik partiküllere rastlamışlardır. Toplam mikroplastik miktarının %80'inin liflerden oluştuğu sonucuna varan araştırmacılar, Raman spektroskopisi kullanarak tanımladıkları plastik polimerlerin %35'inin polietilen, %26'sının polietilen tereftalat, %18'inin polistiren, %12'sinin polivinil klorür ve %9'unun polipropilen olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar Asya ülkelerinde yaygın olarak tüketilen kurutulmuş balık ürünlerinin gelecekte insan sağlığına olumsuz etkiler yaratacağını düşünmekle birlikte, bu

tip ürünlerdeki mikroplastik ve nanoplastik kirliliğinin ileri araştırmalarla incelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Reed ve diğ., (2018) Antarktika sularında, Rothera Araştırma İstasyonu'ndan 7 km açığa kadar 20 farklı bölgede mikroplastik partiküllerine rastlamışlardır. Çalışmada en fazla partikülü, araştırma istasyonuna yakın bir konumda bulunan kanalizasyon dönüşüm tesisinden aldıkları örnekte belirlemişlerdir. Diğer örnekleme bölgelerinde partikül miktarının benzer oranda olduğunu belirten araştırmacılar, elde ettikleri mikroplastik karakterlerinin çamaşır makinelerinden denizlere karışan tipte olduğunu aktarmışlardır. Bu sonuç tehlikenin ne boyutlara ulaştığı hakkında fikir vermektedir.

Son yıllarda Türkiye'de de plastik kirliliği ile ilgili çalışma sayısı giderek artmaktadır. Tuncer ve diğ., 2018 yılında Marmara Denizi, İstanbul ve Çanakkale Boğazları'nda mikroplastik kirliliğini araştırmışlardır. Araştırmacılar çalışmada deniz suyundan m²'de 1.263 plastik parçası elde etmişler ve bu parçaları FTIR spektrometresinde karakterize etmişlerdir. Bu miktarı Türkiye'nin Akdeniz sınırları içerisinde yapılmış çalışmalarla karşılaştırdıklarında kuzey doğu Levant denizine yakın değerler elde etmişlerdir. Ancak Marmara Denizi'ndeki plastik miktarı 2017 yılında Akdeniz'de elde edilenden (1.067 m²) daha fazladır (Gündoğdu ve Cem, 2017). Güven ve diğ., 2017 yılında Kuzey Doğu Akdeniz'de çok daha düşük sonuçlar elde etmişlerdir (0,163-0,520 m²).

Doğruyol ve diğ., 2019 yılında Mayıs 2017 Şubat 2018 dönemi boyunca Haliç sedimentinde yaptıkları çalışmada saptadıkları 566 partikül/kg'nin %20,3'ünü ilkbahar, %18,6'sını yaz, %18,2'sini sonbahar ve %42,9'unu kış mevsiminde belirlemişlerdir.

Çullu ve diğ., 2021 yılında İstanbul Küçükçekmece Lagünü'nde yüzey sularında yaptıkları çalışmada mikroplastiklerin kaynaklarını ve bölgesel dağılımlarını incelemişlerdir. Mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımlarını araştırdıkları bu çalışmada litredeki ortalama partikül sayısını 33 olarak saptamışlardır. Baskın mikroplastik parçacığını %37,95 ile fragment olarak belirleyen araştırmacılar baskın mikroplastik rengini ise %75,28 ile mavi olarak gözlemlemişlerdir.

İstanbul'da bulunan ve arıttığı suyu Marmara Denizi'nin kuzey kıyılarına aktaran Ambarlı Atıksu Arıtma Tesis'i'nden elde edilen örneklerdeki mikroplastik kirliliğini araştıran Vardar ve diğ., (2021) baskın olarak fibril tipinde partiküller saptamışlardır. Tesisteki yüksek arıtma

kapasitesine rağmen günlük $2,934 \times 10^6$ mikroplastik partikülün denize döküldüğünü belirleyen araştırmacılar Ambarlı Atıksu Arıtma Tesisi'nin Marmara Denizi için önemli miktarda kirletici olduğunu göstermişlerdir. Erkan ve diğ., 2021 yılında İstanbul kıyılarında yaptıkları bir çalışmada, 43 farklı istasyondan elde ettikleri örneklerde fragment, pelet, film, köpük ve fibril olmak üzere beş farklı mikroplastik tipi belirlemişlerdir. Araştırmacılar bu partiküllerin ortalama miktarının 1 kg kuru sedimentte $1957,37 \pm 4079,96$ olduğunu saptamışlardır.

Aytan ve diğ., 2021 yılında Karadeniz'deki ticari balık türlerinde yaptıkları çalışmada 190 farklı balık türünden elde ettikleri örneklerde %68,5 fibril, %19 film, %11,9 fragment, %0,3 köpük ve %0,3 mikroboncuk saptamışlardır. Tüm parçacıklar arasında sayıca en fazla belirledikleri plastik rengi %39,3 oranla siyah olmuştur. Bu dağılımı %19,5 ile mavi, %18,1 ile şeffaf partiküller izlemiştir.

Belivermiş ve diğ., 2021 yılında Haliç'te, sedimentte yaptıkları mikroplastik kirliliği çalışmasında saptadıkları mikroplastik partiküllerin %90'ından fazlasının 15 cm'den daha derin sediment kesitinde olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca 20-200 μm boyundaki mikroplastiklerin 200-4000 μm boylu mikroplastiklerden daha baskın olduklarını saptamışlardır.

Terzi ve diğ., 2021 yılında Güney Karadeniz'de sediment ve yüzey sularında yaptıkları mikroplastik kirliliği çalışmasında sırasıyla $64,06 \pm 8,95$ partikül/kg ve $18,68 \pm 3,01$ partikül/ m^3 mikroplastik partikül bulunduğunu saptamışlardır. Ayrıca FTIR spektroskopisi ile inceledikleri partiküllerde; stiren akrilonitril kopolimer (SAC), polietilen tereftalat (PET) ve polietilen (PE) tipinde polimerler belirlemişlerdir.

Türkiye'de mikroplastik çalışmaları giderek artsa da çok daha fazla çalışılacak alan ve konu bulunmaktadır. Geçmiş yıllarda İstanbul Boğazı'ndaki mikroplastik kirliliği üzerine yapılan çalışmalar bulunmakla birlikte artan kirlilik eğilimi nedeniyle daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bu çalışmada boğazın farklı bölgelerinden çok sayıda örnek alınarak mikroplastik kirliliğinin detaylı bir şekilde araştırılması amaçlanmıştır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. İSTANBUL BOĞAZI'NDA ÖRNEKLEME YAPILAN İSTASYONLAR

İstanbul Boğazı'nda 15 farklı istasyondan Ekim 2020 tarihinde 0,1 m² yüzey alanına sahip van Veen grab ile yüzey sediment örnekleri alınmıştır. Kapsamlı ve karşılaştırmalı bir inceleme yapmak amacıyla istasyonlar boğazın her iki yakasından ve mümkün olduğunca farklı derinliklerden seçilmiştir. Örnek alınan istasyonlar Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1: İstanbul Boğazı'nda örnek alınan istasyonlar. 1.Eminönü, 2. Karaköy, 3. Kabataş, 4. Beşiktaş, 5. Ortaköy, 6. Kandilli, 7. Bebek, 8. Anadolu Hisarı, 9. Kanlıca, 10. İstinye, 11. Paşabahçe, 12. Beykoz, 13. Büyükdere, 14. Anadolufeneri, 15. Rumelifeneri.

İstasyonlara ait bilgiler Tablo 3.1' de verilmiştir. Her bir istasyonda üç tekrarlı örnekleme yapılmıştır. Örnekleme sırasında kontaminasyonu önlemek amacıyla plastik malzeme kullanılmamış ve nitril eldiven ile örnek alınmıştır. Ayrıca örnekleme sırasında giysilerden bulaşma riskini azaltmak için pamuk tulum giyilmiştir. Her biri metal kapaklı cam kavanozlara alınan 400 g yaş sediment örnekleri analizleri yapılana kadar -20 °C'de saklanmıştır.

Tablo 3.1: İstanbul Boğazı'ndan örnek alınan istasyonlara ait koordinat ve derinlik bilgileri.

İstasyon Numarası	İstasyon Adı	Koordinat	Derinlik (m)
1	Eminönü	41°01'07.3"N 28°58'16.3"E	12,6
2	Karaköy	41°01'22.1"N 28°58'45.5"E	10,8
3	Kabataş	41°01'48.0"N 28°59'23.3"E	14,4
4	Beşiktaş	41°02'17.2"N 29°00'06.8"E	12,6
5	Ortaköy	41°02'48.8"N 29°01'34.3"E	14,4
6	Kandilli	41°04'01.9"N 29°03'23.0"E	10,8
7	Bebek	41°04'41.2"N 29°02'43.8"E	14,4
8	Anadolu Hisarı	41°04'53.8"N 29°03'55.8"E	5,4
9	Kanlıca	41°05'39.5"N 29°03'59.0"E	11,2
10	İstinye	41°06'46.4"N 29°03'39.2"E	20
11	Paşabahçe	41°07'05.9"N 29°05'43.4"E	9
12	Beykoz	41°07'42.2"N 29°05'37.7"E	9
13	Büyükdere	41°09'25.6"N 29°02'17.0"E	9
14	Anadolufeneri	41°13'00.1"N 29°09'01.8"E	7,2
15	Rumelifeneri	41°13'27.8"N 29°06'34.2"E	10,2

3.2. MİKROPLASTİK ANALİZ YÖNTEMİ

Analiz için -20 °C'de bekletilen sediment örnekleri oda sıcaklığına geldikten sonra etüvde 60 °C'de kurutulmuştur. Metal kaşıkla karıştırılarak homojen hale getirilen her bir örnekten 3 seri olacak şekilde 5 g kuru sediment tartılarak beher içerisinde alınmıştır. Yoğunluk farkıyla ayırıştırma işlemi için 100 ml doymuş NaCl çözeltisi ($\text{NaCl } \rho = 1,20 \text{ g/ml}$) eklenmiş ve 5 dakika boyunca karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Daha sonra bu örnekler 24 saat hareket ettirmeden bekletilerek sedimentin çökmesi beklenmiştir (Zhao ve diğ., 2018; Erni-Cassola ve diğ., 2019).

Beherdeki sıvı pipet yardımıyla farklı bir behere alınarak kalan örnek üzerine tekrar NaCl eklenerek aynı prosedürle ikinci kez ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Beher içine alınan supernatant solusyonlarına organik ayrıştırma işlemi için 200 ml %30'luk Hidrojen Peroksit (H_2O_2) eklenerek ısıtıcı tabla üzerinde $40^{\circ}C$ 'de 1 saat bekletilmiştir (Liebezeit ve Dubaish, 2012). Örnekler soğuduktan sonra supernatant $0,47\ \mu m$ göz açıklığına sahip selüloz asetat filtre ile (Whatman CA Membrane) vakum pompası yardımıyla süzölmüştür (Prata ve diğ., 2019). Kalan materyale bu işlem tekrar uygulanarak, filtre kağıtları cam kapaklı petrilere alınarak kurutulmuştur. Analizler sırasında giysilerden bulaşmayı önlemek amacıyla önlük giyilmiş ve nitril eldiven kullanılmıştır. Filtre kağıtları kapaklı cam petrilere Leica M 205C Stereo mikroskop altında incelenmiş, fotoğrafları çekilmiş ve mikroplastikler renk ve şekillerine göre sınıflandırılarak sayılmıştır. Mikroskop altında inceleme sırasında mikroplastik olduğuna karar verilemeyen partiküller sıcak bir iğne yardımıyla yakılarak kontrol edilmiştir.

3.3. MİKROPLASTİKLERİN SAYIM VE SINIFLANDIRILMASI

Analizleri tamamlanan ve asetat filtre üzerinde, petri içinde kurutulan partiküller Leica M 205C Stereo mikroskopta incelenmiştir. Saptanan mikroplastik partikülleri renk ve şekillerine göre sınıflandırılıp sayılmıştır (Wu ve diğ., 2018). Bu partiküllerin mikroskop fotoğrafları çekilirken analiz sırasında olduğu gibi pamuk önlük ve nitril eldiven kullanılmıştır.

3.4. SAPTANAN MİKROPLASTİKLERİN RAMAN İLE KARAKTERİZASYONU

Leica M 205C stereo mikroskobunda sayımları yapılarak gruplandırılan mikroplastik partiküllerin bir kısmı Thermo Fisher DXR3 ve Jasco NRS 3100 Model Mikro Raman Spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Analizlerde kullanılan NRS 3100 Mikro Raman spektrometresinde iki adet lazer kaynağı kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi 532 nm dalga boyuna sahip yeşil renkli Nd YAG lazeridir. İkinci lazer kaynağı da 785 nm dalga boyuna sahip kırmızı diyot lazeridir. Raman spektrometrelerinde dalga boyu ayırıcıları olarak grating sistemi ve kullanılan spektrometrede 1800 çizgi/mm, 600 çizgi/mm ve 1200 çizgi/mm olmak üzere 3 adet grating sistemi bulunmaktadır. Dedektör olarak Foton çoğaltıcı tüp veya CCD dedektör kullanılmaktadır. Micro Raman cihazında farklı objektifler (5X, 20X, 100X) kullanılarak, mikroplastiklere odaklanma sağlama, istenen sürede ve miktarda spektrumlar elde edilerek, spektrum çekebilme olanağı bulunmaktadır. Sediment örneklerinden çıkartılan ve stereo mikroskop sayımı sonrası mikroplastik olabileceği düşünülen mikro ölçekteki örnekler, filtre

kağıdından lam üzerine alınıp işaretlendikten sonra spektrum çekmeye hazır halde cihaza yerleştirilmiştir. Önce 5X objektifli mikroskop ile yerleri tespit edilip daha sonra 20X objektifli mikroskop seçilerek, örneğin uygun bölgesi odaklanma için hedeflenmiştir. Örnekler için en iyi spektrum elde edilen 785 nm dalga boyuna sahip kırmızı diyot lazer kaynak olarak ve 1200 çizgi/mm grating sistemi için tercih edilmiştir. Spektrum kalitesini arttırmak ve gürültü oranını en aza indirmek için akümüasyon sayısı 50, 100, 150 ve 200 olarak sırasıyla arttırılmış ve pozlama süresi 1 saniye olarak ayarlanmıştır. Slit aralığı 0.1x6mm ve uygulanan lazer gücü de 30.6 mW civarındadır. Spektrum çözünürlükleri 2.90 cm⁻¹ civarında elde edilmiştir. Tüm numuneler için üç ayrı dalga sayısı bölgesinde (center 1550 cm⁻¹, center 950 cm⁻¹ ve center 500 cm⁻¹) çekimler yapılmış ve kayıt edilmiştir.

Spektrumlar .spc formatına çevrilerek GRAMS/AI (Thermo Fisher, Waltham, MA, USA) paket programı kullanılarak çizilmiştir, spektrumlarda raw data kullanılmış, hiçbir baseline yapılmamış ancak gürültüyü azalmak için spektrumdaki pürüzler olabildiğince azaltılmıştır. Çekilen spektrumların mikroplastik çeşitini belirlemek için OpenSpecy DATA (Cowger ve diğ., 2020; Cowger ve diğ., 2021) kütüphanesinden yararlanılmıştır.

3.5. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

İstanbul Boğazı'nda 15 farklı istasyondan alınan yüzey sediment örneklerinde belirlenen mikroplastik partiküllerin renk, şekil ve sayıları bakımından, istasyonlar arasındaki yakınlıkları belirlemek amacıyla PRIMER 6 programı kullanılarak, Öklid mesafesi indeksiyle analiz yapılmış ve bölgesel dağılım modelini çözümlmek amacıyla çok boyutlu ölçekleme (MDS) analizi uygulanmıştır. Analiz için ham bilgiye log (x+1) dönüşümü uygulanmıştır (Clarke ve Warwick, 2001).

4. BULGULAR

4.1. İSTANBUL BOĞAZI YÜZEY SEDİMENT ÖRNEKLERİNDE BELİRLENEN MİKROPLASTİKLERİN ŞEKİL VE RENKLERİNE GÖRE DAĞILIMI

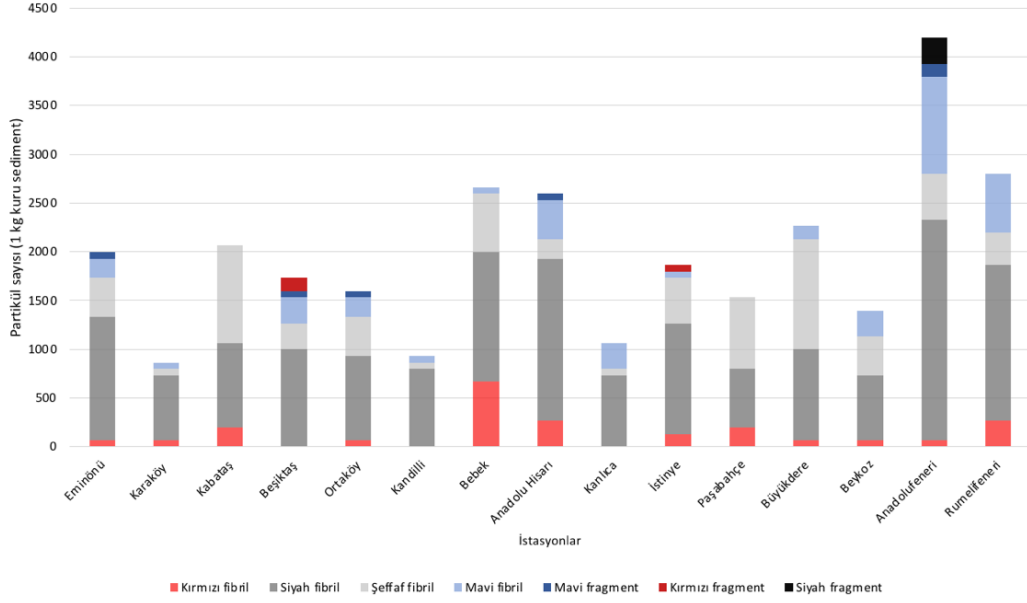
İstanbul Boğazı'nda örnekleme yapılan istasyonlardan alınan yüzey sediment örneklerinin analizi sonucunda saptanan mikroplastiklerin 15 g/kuru sedimentteki sayıları ile şekil ve renklerine göre istasyonlardaki dağılımları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: İstanbul Boğazı yüzey sediment örneklerinde belirlenen mikroplastiklerin şekil ve renklerine göre dağılımı (15 g/kuru sediment)

İstasyon Numarası	İstasyon Adı	Kırmızı fibril	Siyah fibril	Şeffaf fibril	Mavi fibril	Mavi fragment	Kırmızı fragment	Siyah fragment	Toplam
1	Eminönü	1	19	6	3	1			30
2	Karaköy	1	10	1	1				13
3	Kabataş	3	13	15					31
4	Beşiktaş		15	4	4	1	2		26
5	Ortaköy	1	13	6	3	1			24
6	Kandilli		12	1	1				14
7	Bebek	10	20	9	1				40
8	Anadolu	4	25	3	6	1			39
9	Kanlıca		11	1	4				16
10	İstinye	2	17	7	1		1		28
11	Paşabahçe	3	9	11					23
12	Büyükdere	1	14	17	2				34
13	Beykoz	1	10	6	4				21
14	Anadolufeneri	1	34	7	15	2		4	63
15	Rumelifeneri	4	24	5	9				42

Tablo 4.1'e göre en fazla mikroplastik partikül saptanan ilk iki istasyon sırası ile 63 partikül ile Anadolufeneri ve 42 partikülle Rumelifeneri olurken, en az mikroplastik partikül saptanan iki istasyon ise sırasıyla 13 mikroplastik partikül ile Karaköy ve 14 mikroplastik partikül ile Kandilli olmuştur.

İstanbul Boğazı yüzey sedimentinde örnekleme yapılan istasyonlardan elde edilen toplam mikroplastik partikül sayılarının 1 kg/kuru sedimentteki karşılıkları şekil ve renklerine göre dağılımlarıyla Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



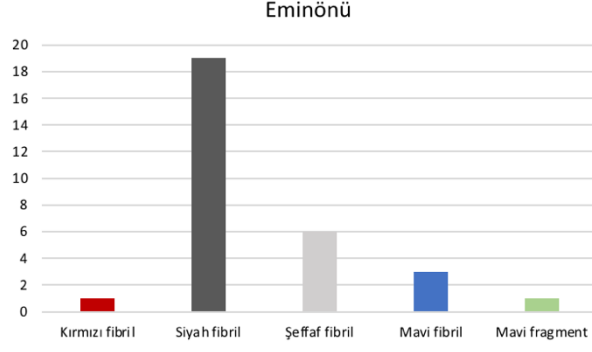
Şekil 4.1: İstanbul Boğazı yüzey sediment örneklerinde belirlenen mikroplastiklerin toplam sayıları ve istasyonlardaki dağılımı

Şekil 4.1'e göre en yüksek mikroplastik partikül miktarı (4195 partikül/kg) Anadolu Feneri, en düşük mikroplastik partikül miktarı ise (865 partikül/kg) Karaköy istasyonunda saptanmıştır.

4.2. İSTANBUL BOĞAZI YÜZEY SEDİMENT ÖRNEKLERİNDE SAPTANAN MİKROPLASTİKLERİN İSTASYONLARDAKİ DAĞILIMI

Bu bölümde, çalışılan tüm istasyonlarda 15 g/kuru sedimentte saptanan mikroplastik partikül miktarları, renk ve şekillerine göre sınıflandırılarak her istasyon özelinde grafikler ve mikroskop görüntüleriyle birlikte verilmiştir.

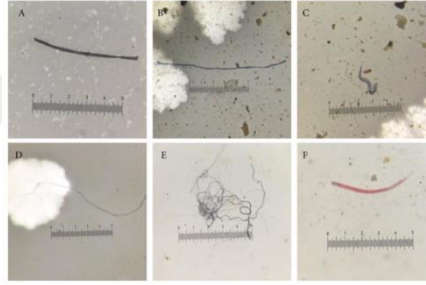
Eminönü istasyonunda 12,6 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Eminönü istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

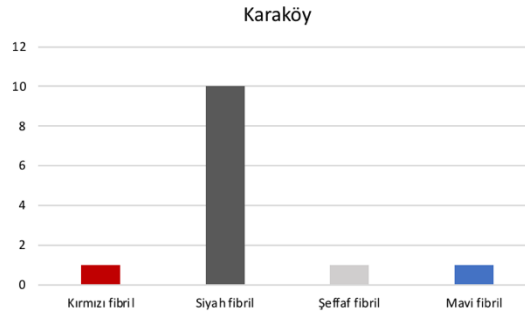
Şekil 4.2’de verilen dağılıma bakıldığında, mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 19 partikül ile siyah fibril (%63,3) olurken, en az görülen plastik tipleri ise birer partikül ile kırmızı fibril ve mavi fragmenttir (%3,33).

Eminönü istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3: Eminönü istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 12.5X yakınlaştırma/siyah fibril, B. 6.3X yakınlaştırma/mavi fibril, C. 10X yakınlaştırma/mavi fragment, D. 7X yakınlaştırma/şeffaf fibril, E. 2.25X yakınlaştırma/siyah fibril, F. 16X yakınlaştırma/kırmızı fibril (Ölçek: 5 mm).

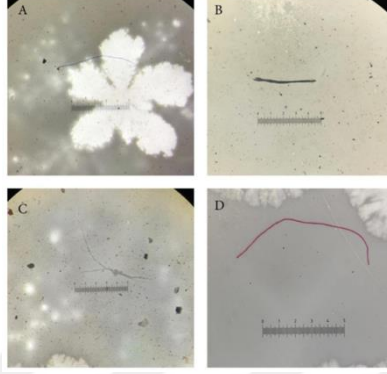
Karaköy istasyonunda 10,8 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Karaköy istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

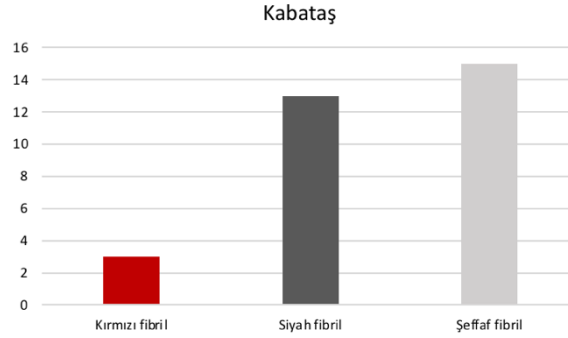
Şekil 4.4'e göre, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 10 partikül ile (%76,92) ile siyah fibril olurken, kırmızı, şeffaf ve mavi fibrilden ise sadece birer partikül (%7,69) saptanmıştır.

Karaköy istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5: Karaköy istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 6.3X yakınlaştırma/mavi fibril, B. 10X yakınlaştırma/siyah fibril, C. 9X yakınlaştırma/şeffaf fibril, D. 5.5X yakınlaştırma/kırmızı fibril (Ölçek: 5 mm).

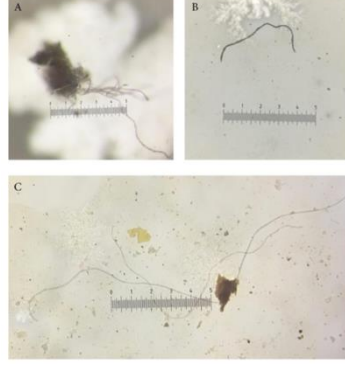
Kabataş istasyonunda 14,4 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Kabataş istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

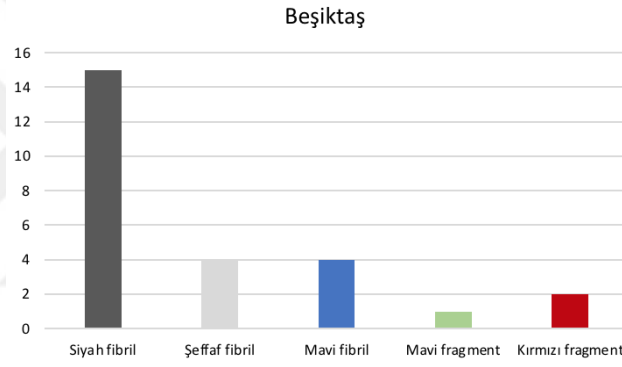
Şekil 4.6'da görüldüğü gibi, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 15 partikül (%48,39) ile şeffaf fibril olurken, en az belirlenen partikül tipi 3 partikül (%9,68) ile kırmızı fibril olmuştur.

Kabataş istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7: Kabataş istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A: 12.5X yakınlaştırma/şeffaf fibril, B: 6.3X yakınlaştırma/siyah fibril, C: 4X yakınlaştırma/şeffaf fibril (Ölçek: 5 mm).

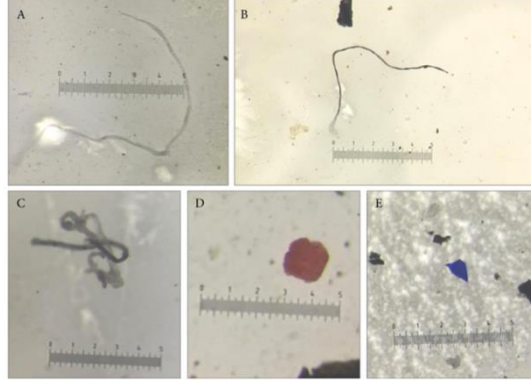
Beşiktaş istasyonunda 12,6 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Beşiktaş istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

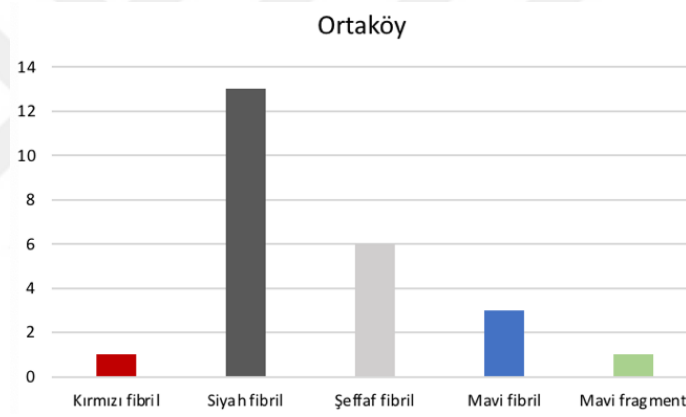
Şekil 4.8'de verilen dağılıma bakıldığında, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 15 partikül (%57,69) ile siyah fibril olurken en az belirlenen partikül tipi 1 adet ile (%3,85) mavi fragment olmuştur.

Beşiktaş istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9: Beşiktaş istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 8X yakınlaştırma/şeffaf fibril, B. 4X yakınlaştırma/siyah fibril, C. 16X yakınlaştırma/siyah fibril, D. 16X yakınlaştırma/kırmızı fragment, E. 10X yakınlaştırma/mavi fragment (Ölçek: 5 mm).

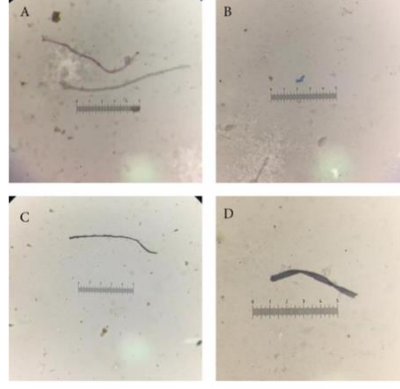
Ortaköy istasyonunda 14,4 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Ortaköy istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

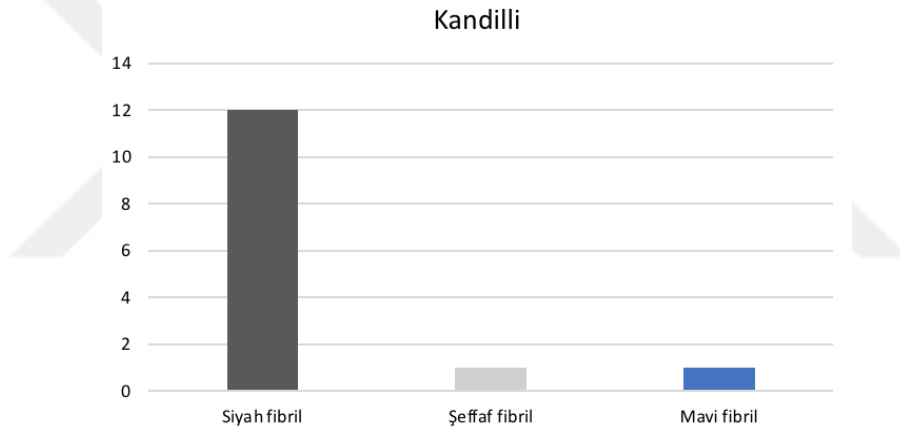
Şekil 4.10'a göre, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 13 partikül (%54,17) ile siyah fibril olurken en az belirlenen partikül tipi 1'er adet ile (%4,17) mavi fragment ve kırmızı fibril olmuştur.

Ortaköy istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11: Ortaköy istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 16X yakınlaştırma/renksiz fibril, B. 12.5X yakınlaştırma/mavi fragment, C. 16X yakınlaştırma/siyah fibril, D. 16X yakınlaştırma/siyah fibril (Ölçek 5 mm).

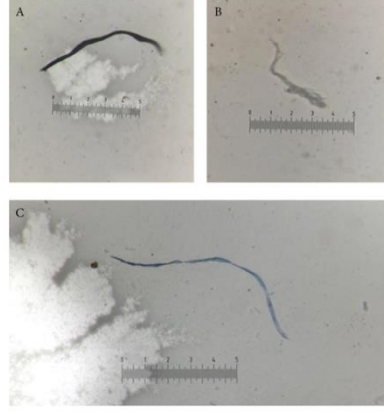
Kandilli istasyonunda 10,8 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12: Kandilli istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

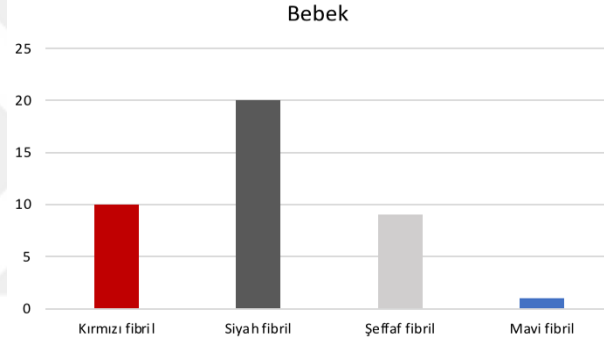
Şekil 4.12'de verilen dağılım bakıldığında, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 12 partikül (%85,71) ile siyah fibril olurken en az belirlenen partikül tipi 1'er adet ile (%7,14) mavi ve şeffaf fibril olmuştur.

Kandilli istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13: Kandilli istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 13.5X yakınlaştırma/siyah fibril, B. 8X yakınlaştırma/şeffaf fibril, C. 16X yakınlaştırma/mavi fibril (Ölçek: 5 mm).

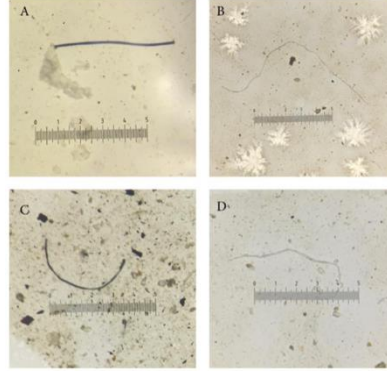
Bebek istasyonunda 14,4 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14: Bebek istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

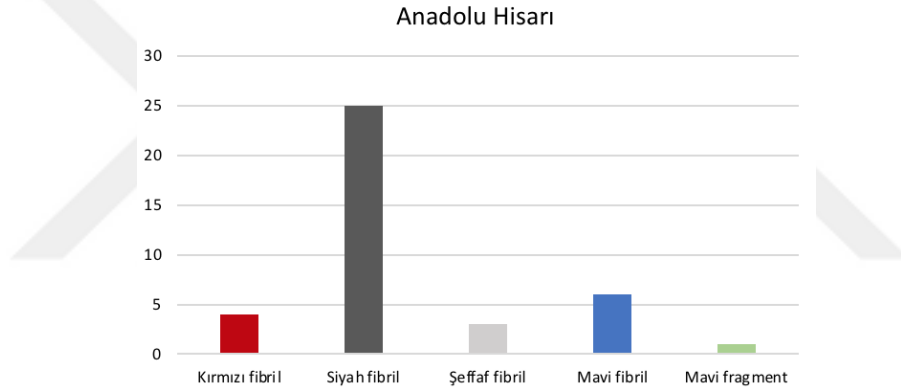
Şekil 4.14'te görüldüğü gibi, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 20 partikül (%50) ile siyah fibril olurken, en az belirlenen partikül tipi 1 adet ile (%2,5) mavi fibril olmuştur.

Bebek istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15: Bebek istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 10X yakınlaştırma/mavi fibril, B. 3.2X yakınlaştırma/kırmızı fibril, C. 6.1X yakınlaştırma/siyah fibril, D. 5.8X yakınlaştırma/şeffaf fibril (Ölçek: 5 mm).

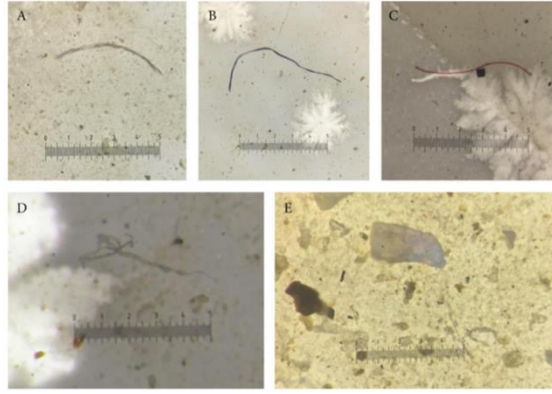
Anadolu Hisarı istasyonunda 5,4 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16: Anadolu Hisarı istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

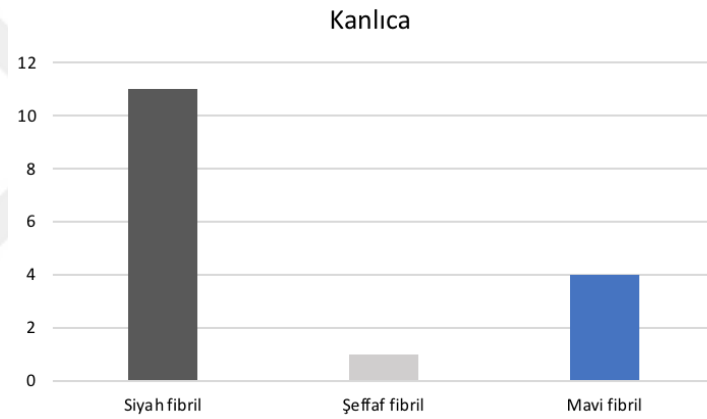
Şekil 4.16'da verilen dağılıma bakıldığında, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 25 partikül (%64,1) ile siyah fibril olurken, en az belirlenen partikül tipi 1 adet ile (%2,56) mavi fragment olmuştur.

Anadolu Hisarı istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17: Anadolu Hisarı istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 10X yakınlaştırma/şeffaf fibril, B. 5.2X yakınlaştırma/siyah fibril, C. 5.4X yakınlaştırma/kırmızı fibril, D. 12.7X yakınlaştırma/şeffaf fibril, E. 10X yakınlaştırma/mavi fragment (Ölçek: 5 mm).

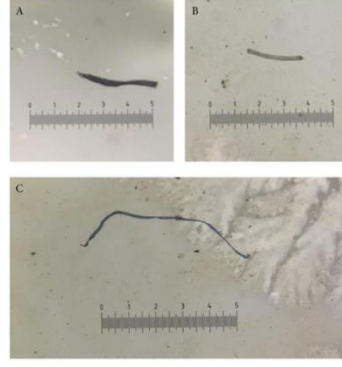
Kanlıca istasyonunda 11,2 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18: Kanlıca istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

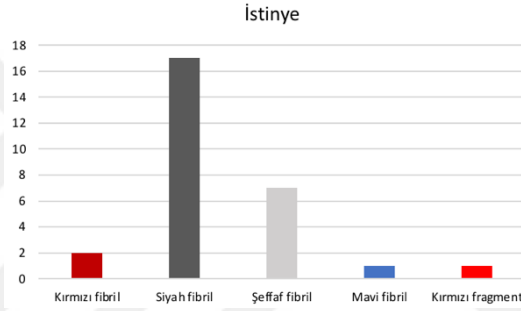
Şekil 4.18'e göre, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 11 partikül (%68,75) ile siyah fibril olurken, en az belirlenen partikül tipi 1 adet ile (%6,25) şeffaf fibril olmuştur.

Kanlıca istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19: Kanlıca istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 9X yakınlaştırma/siyah fibril, B. 10X yakınlaştırma/şeffaf fibril, C. 5X yakınlaştırma/mavi fibril (Ölçek 5 mm).

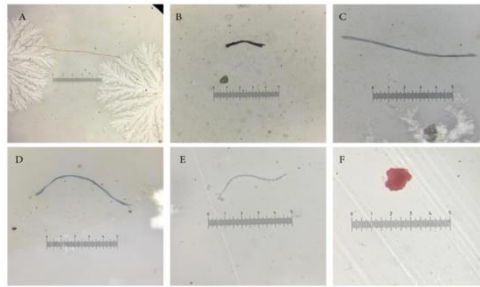
İstinye istasyonunda 20 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20: İstinye istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

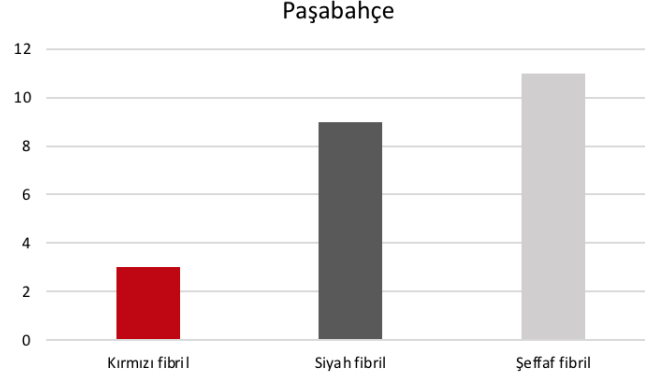
Şekil 4.20'ye göre, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 17 partikül (%60,71) ile siyah fibril olurken, en az belirlenen partikül tipi 1'er adet ile (%3,57) mavi fibril ve kırmızı fragment olmuştur.

İstinye istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.21: İstinye istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 3.2X yakınlaştırma/kırmızı fibril, B. 11.5X yakınlaştırma/siyah fibril, C. 10X yakınlaştırma/mavi fibril, D. 7.5X yakınlaştırma/mavi fibril, E. 9X yakınlaştırma/şeffaf fibril, F. 9X yakınlaştırma/kırmızı fragment (Ölçek: 5 mm).

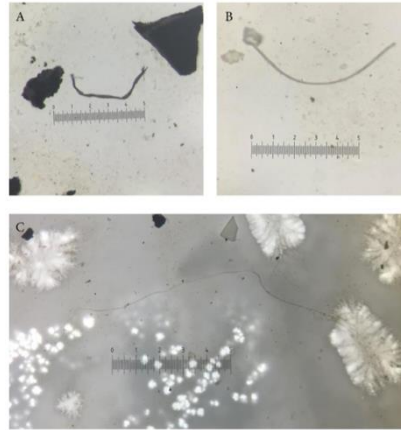
Paşabahçe istasyonunda 9 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22: Paşabahçe istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

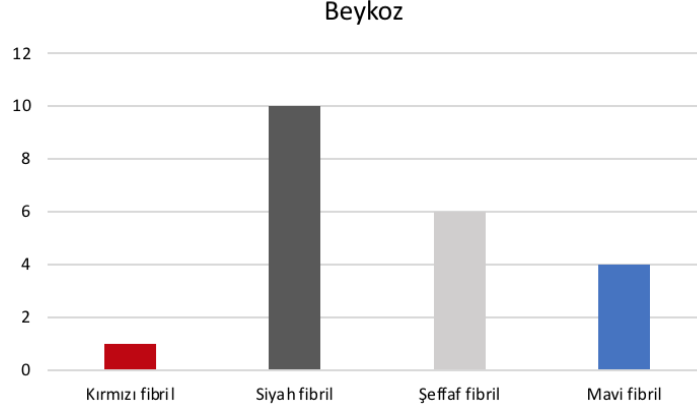
Şekil 4.22'de verilen dağılıma bakıldığında, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 11 partikül (%47,83) ile siyah şeffaf fibril olurken, en az belirlenen partikül tipi 3 adet ile (%13,04) kırmızı fibril olmuştur.

Paşabahçe istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23: Paşabahçe istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 10X yakınlaştırma/siyah fibril, B. 9X yakınlaştırma/şeffaf fibril, C. 1.5X yakınlaştırma/şeffaf fibril (Ölçek 5 mm).

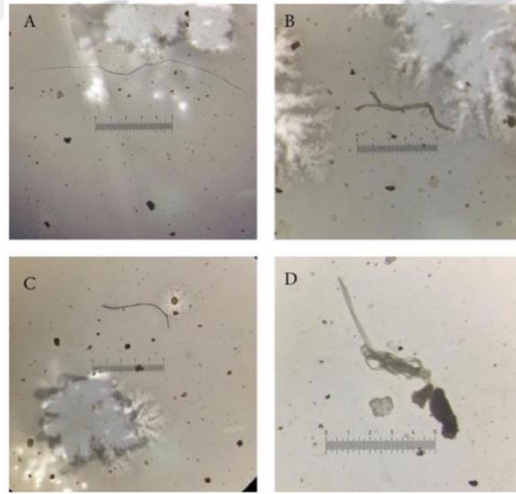
Beykoz istasyonunda 9 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.24'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24: Beykoz istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

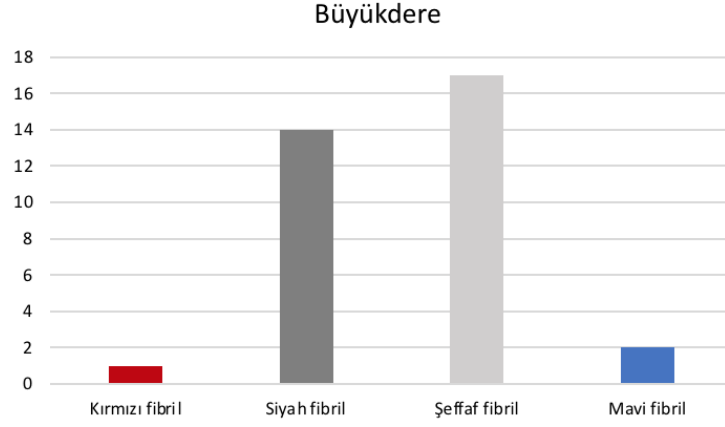
Şekil 4.24'te görüldüğü gibi, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 10 partikül (%47,62) ile siyah fibril olurken, en az belirlenen partikül tipi 1 adet ile (%4,76) kırmızı fibril olmuştur.

Beykoz istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25: Beykoz istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar
A. 6.3X yakınlaştırma/mavi fibril, B. 10X yakınlaştırma/şeffaf fibril, C. 5X yakınlaştırma/siyah fibril, D. 12X yakınlaştırma/şeffaf fibril (Ölçek: 5 mm).

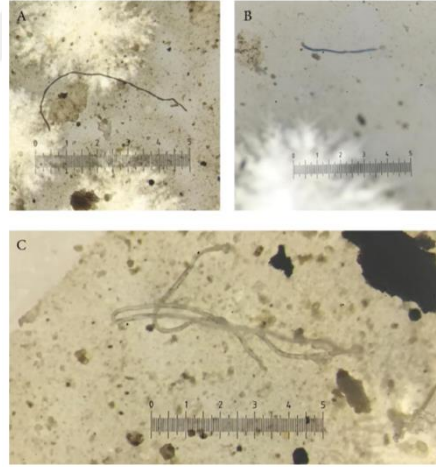
Büyükdere istasyonunda 9 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26: Büyükdere istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

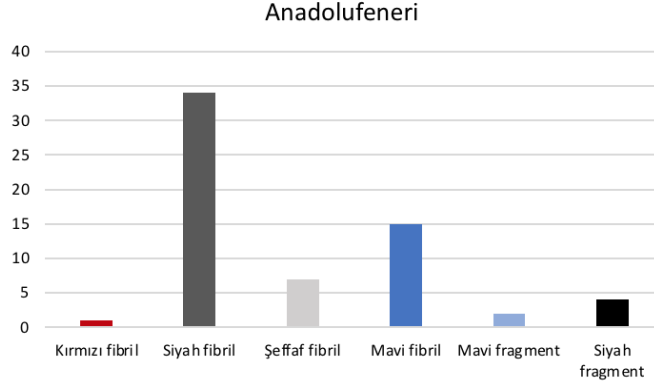
Şekil 4.26'da verilen dağılım bakıldığında, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 17 partikül (%50) ile şeffaf fibril olurken, en az belirlenen partikül tipi 1 adet ile (%2,94) kırmızı fibril olmuştur.

Büyükdere istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27: Büyükdere istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar A. 3.2X yakınlaştırma/siyah fibril, B. 8X yakınlaştırma/mavi fibril, C. 5X yakınlaştırma/şeffaf fibril (Ölçek: 5 mm).

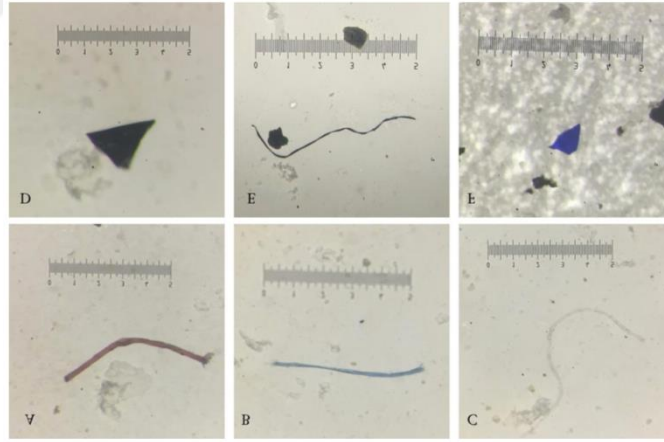
Anadolufeneri istasyonunda 7,2 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28: Anadoluferi istasyonunda belirlenen mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

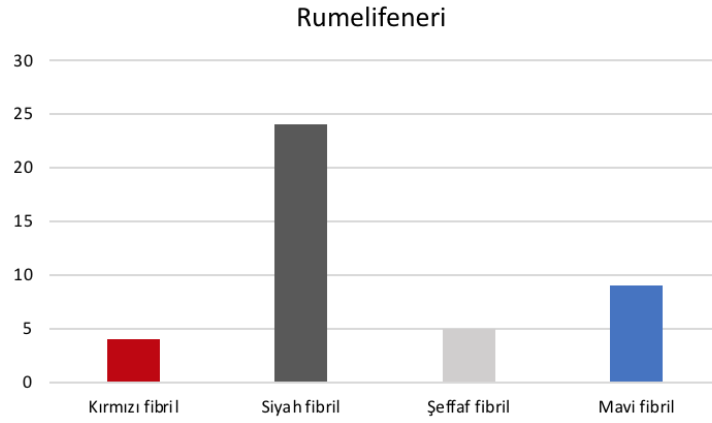
Şekil 4.28'e göre, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 34 partikül (%53,97) ile siyah fibril olurken, en az belirlenen partikül tipi 1 adet ile (%1,59) kırmızı fibril olmuştur.

Anadolufeneri istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29: Anadoluferi istasyonunda saptanan mikroplastiklere ait fotoğraflar
A. 16X yakınlaştırma/kırmızı fibril, B. 10X yakınlaştırma/mavi fibril, C. 10X yakınlaştırma/şeffaf fibril, D. 16X yakınlaştırma/siyah fragment, E. 3.2X yakınlaştırma/siyah fibril, F. 10X yakınlaştırma/mavi fragment (Ölçek: 5 mm).

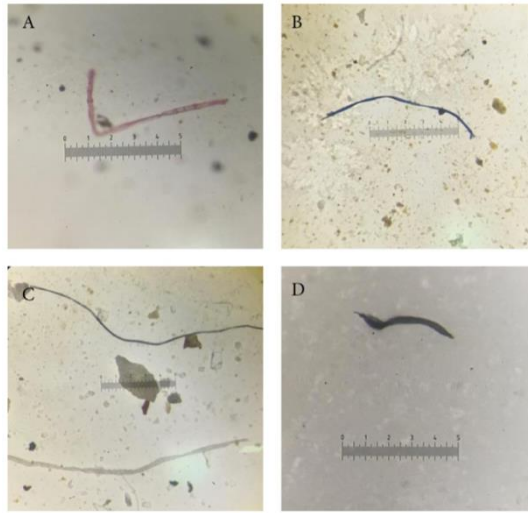
Rumelifeneri istasyonunda 10,2 m derinlikten alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastiklerin renk ve şekillerine göre dağılımı Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



Şekil 4.30: Rumelifeneri istasyonunda saptanan mikroplastik partiküllerin renk ve şekillerine göre dağılımı.

Şekil 4.30'a göre, belirlenen mikroplastikler arasında en sık gözlemlenen tip 24 partikül (%57,14) ile siyah fibril olurken, en az belirlenen partikül tipi 4 adet ile (%9,52) kırmızı fibril olmuştur.

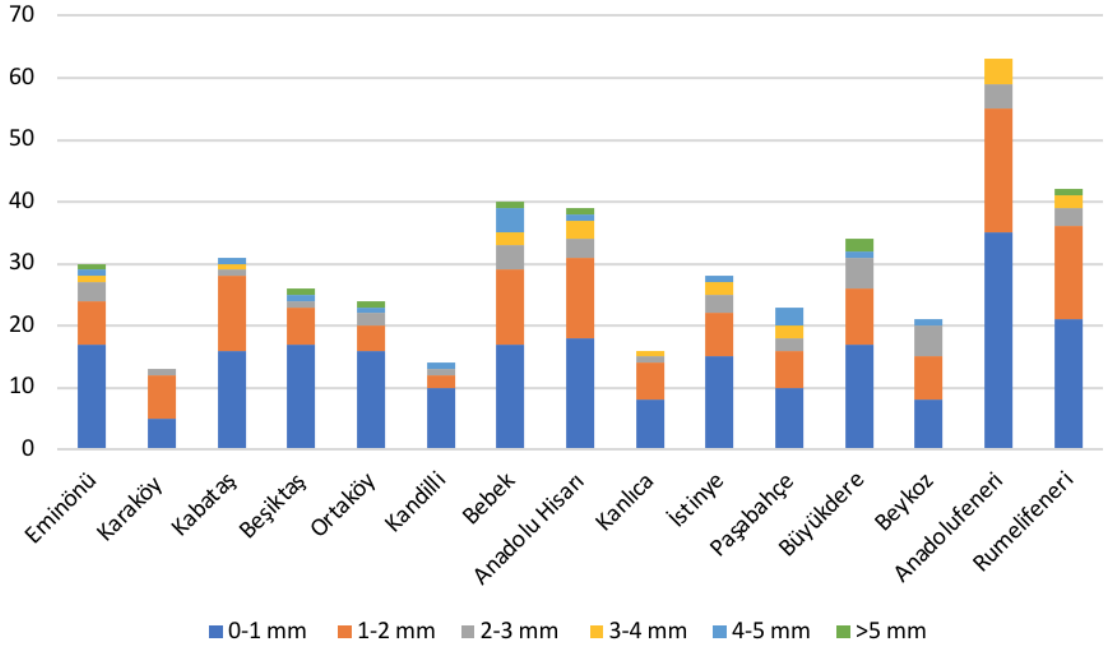
Rumelifeneri istasyonu yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31: Rumelifeneri istasyonundan elde edilen mikroplastiklere ait mikroskop görüntüleri A. 10X yakınlaştırma/kırmızı fibril, B. 9X yakınlaştırma/mavi fibril, C. 12.5X yakınlaştırma/şeffaf fibril, D. 16X yakınlaştırma/siyah fibril (Ölçek: 5 mm).

4.3. İSTANBUL BOĞAZI YÜZEY SEDİMENT ÖRNEKLERİNDEN ELDE EDİLEN MİKROPLASTİK PARTİKÜLLERİNİN BOYUTLARINA GÖRE DAĞILIMI

Tüm istasyonlardan elde edilen toplam mikroplastik partiküllerin boyları ölçülerek gruplandırılmıştır. Buna göre boyları 0-1 mm, 1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm ve 4-5 mm aralığında olmak üzere partiküller beş grup altında toplanmıştır. Mikroplastiklerin boylarına göre istasyonlardaki dağılımları Şekil 4.32'de gösterilmektedir.

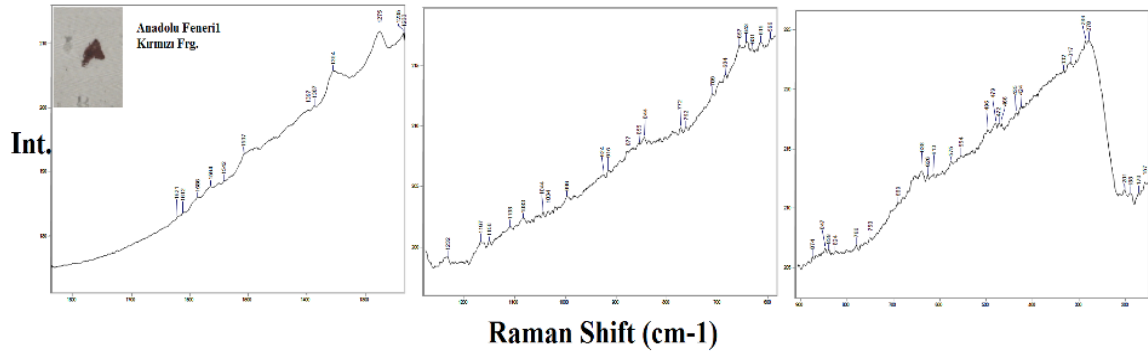


Şekil 4.32: İstanbul Boğazı yüzey sediment örneklerinde saptanan mikroplastik partiküllerinin boyutlarına göre dağılımı.

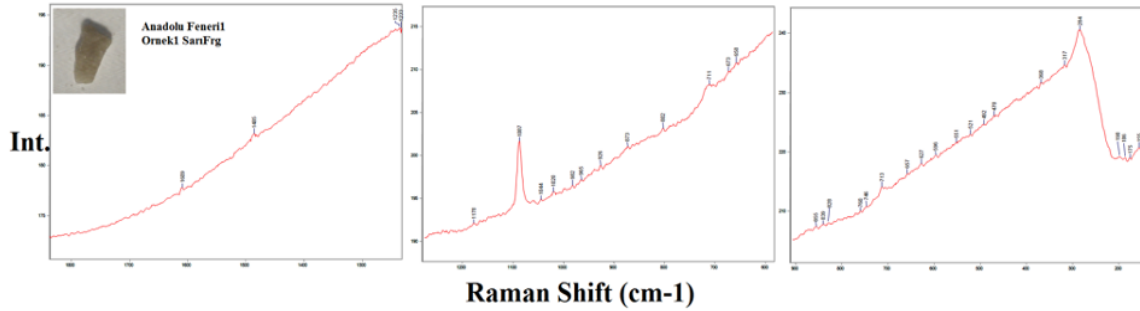
Şekil 4.32'ye göre toplam partikül sayısının baskın kısmını 230 adet (%51,80) ile 0-1mm boyundaki mikroplastikler oluşturmuştur. Karaköy istasyonu hariç tüm istasyonlarda baskın boyut 0-1mm bulunmuştur. En az saptanan mikroplastik boyutu ise 16 adet (%3,60) partikül ile 4-5mm boyundaki mikroplastikler oluşturmuştur. Ayrıca 8 tane 5mm'den büyük partikül de kaydedilmiştir.

4.4. YÜZEY SEDİMENTİNDE BELİRLENEN MİKROPLASTİK PARTİKÜLLERİN SPEKTROSKOPİK İNCELENMESİ

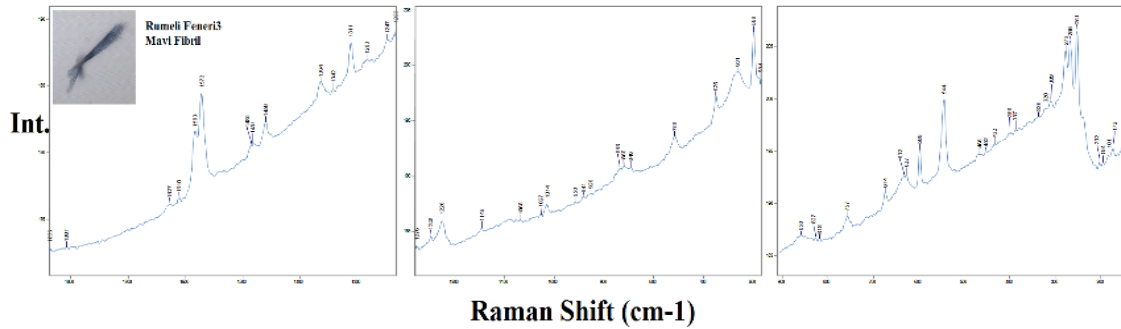
İstanbul Boğazı yüzey sedimentinde belirlenen mikroplastik partiküller Jacso NRS 3100 model mikro raman spektrometresi ve Thermo Fisher DXR3 model mikro raman spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Şekil 4.33'ten Şekil 4.41'e kadar olan spektrumlar Jacso NRS 3100 model mikro raman spektrometresine ait iken Şekil 4.41'den itibaren Şekil 4.43 dahil olmak üzere Thermo Fisher DXR3 model mikro raman spektrometresine aittir. Şekil 4.43'ten itibaren görülen spektrum tipinin tek olmasının sebebi Thermo Fisher DXR3 model raman cihazının tek parça çekim yapabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır.



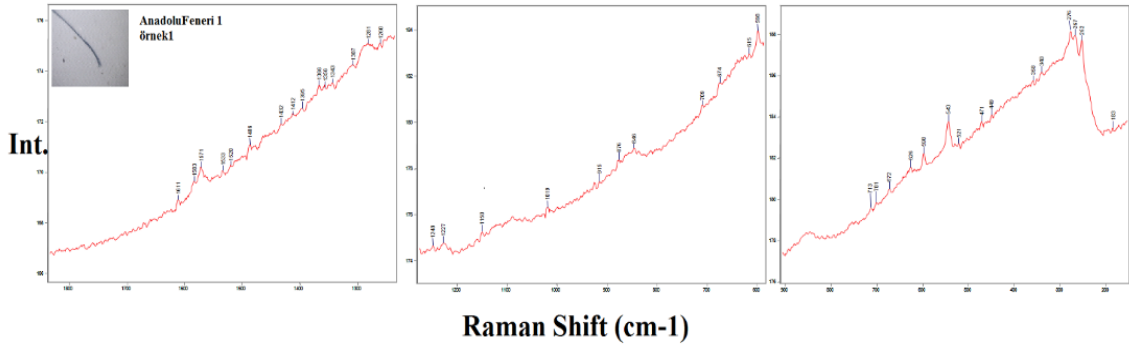
Şekil 4.33: Anadolu Feneri istasyonunda belirlenen kırmızı fragmente ait Raman spektrumu



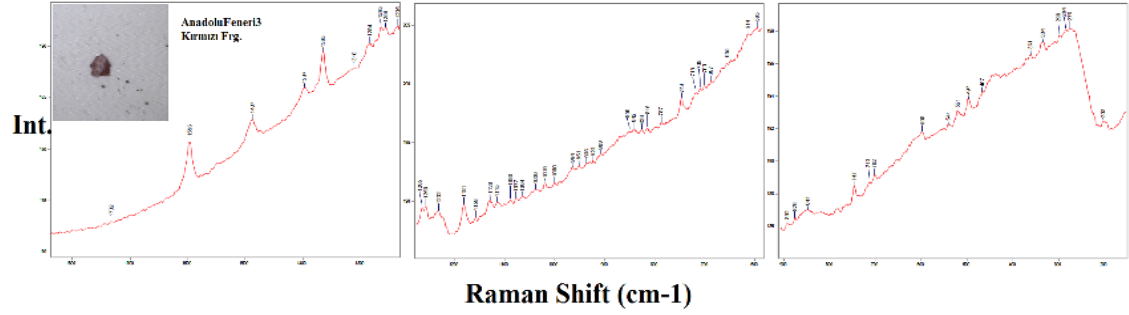
Şekil 4.34: Anadolu Feneri istasyonunda belirlenen sarı fragmente ait Raman spektrumu



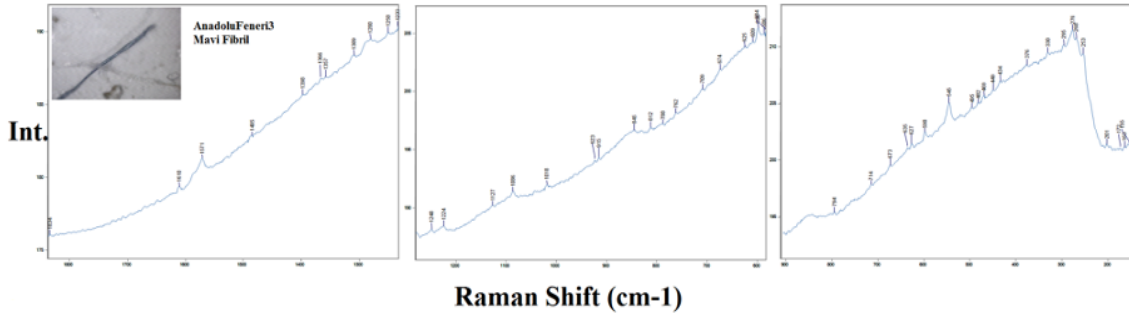
Şekil 4.35: Rumeli Feneri istasyonunda belirlenen mavi fibrile ait Raman spektrumu



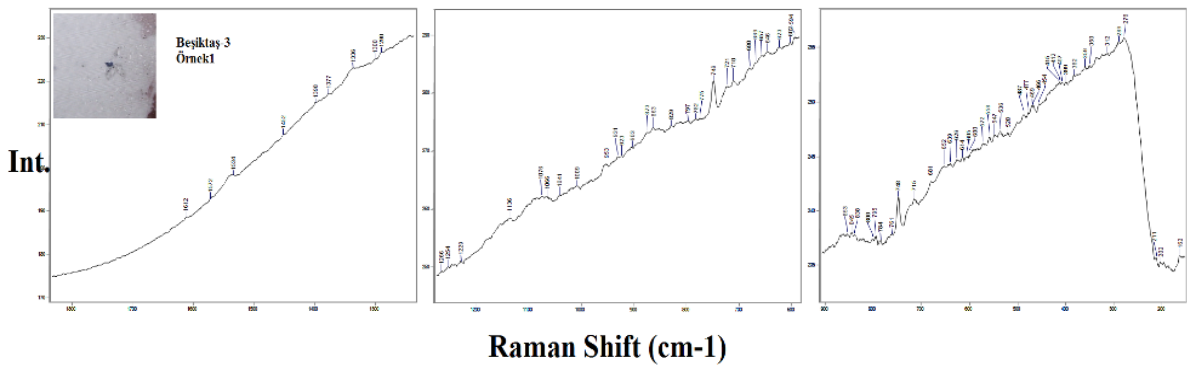
Şekil 4.36: AnadoluFeneri istasyonunda belirlenen mavi fibrile ait Raman spektrumu



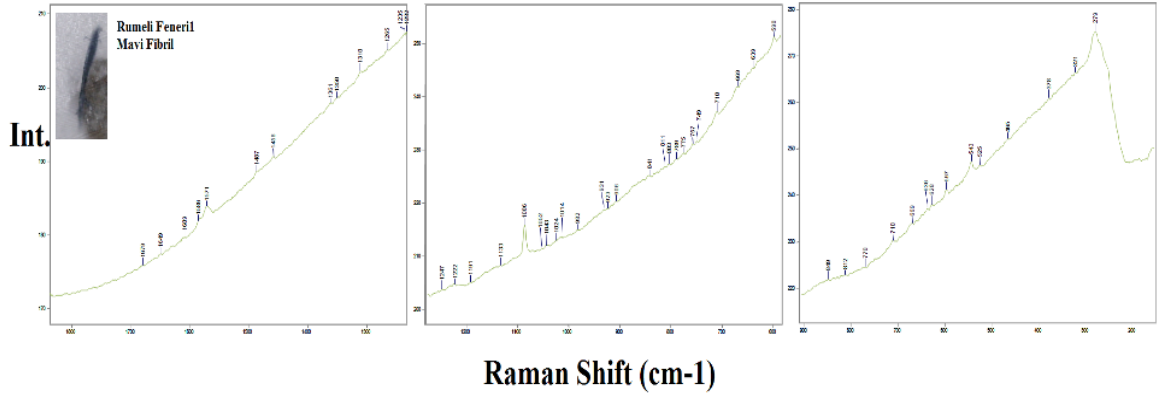
Şekil 4.37: AnadoluFeneri istasyonunda belirlenen kırmızı fragmente ait Raman spektrumu



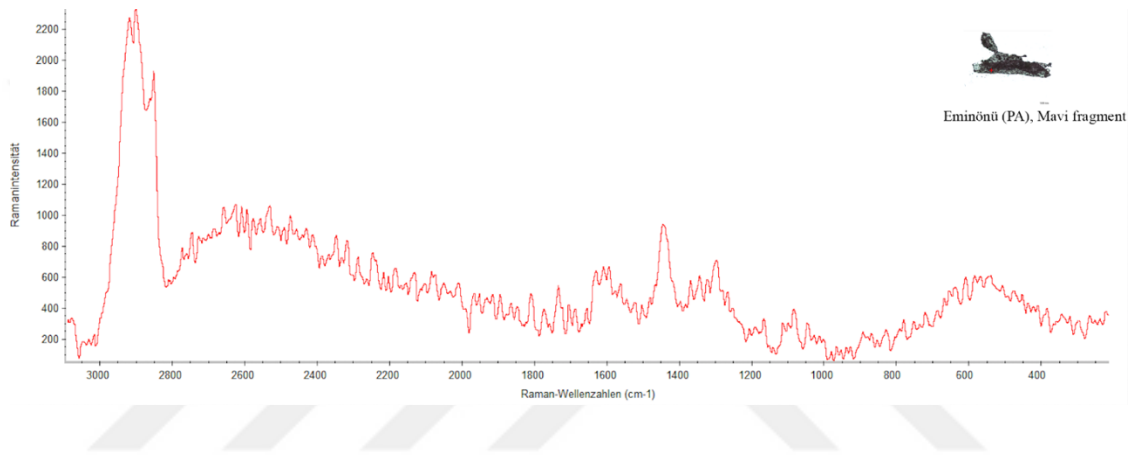
Şekil 4.38: AnadoluFeneri istasyonunda belirlenen mavi fibrile ait Raman spektrumu



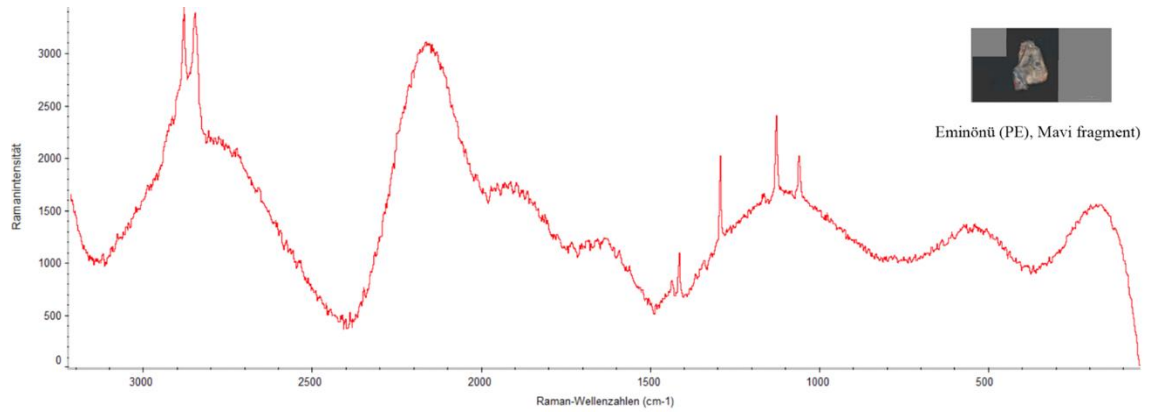
Şekil 4.39: Beşiktaş istasyonunda belirlenen mavi fragmente ait Raman spektrumu



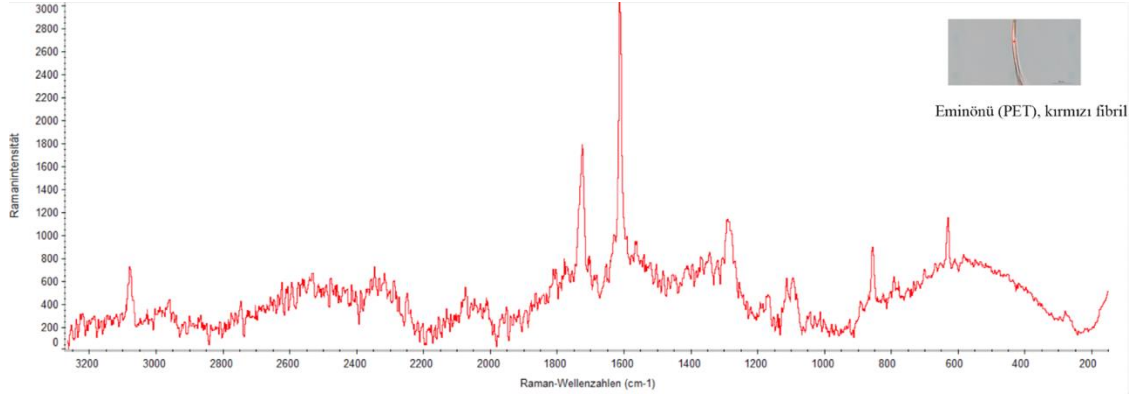
Şekil 4.40: Rumelifeneri istasyonunda belirlenen mavi fibrile ait Raman spektrumu



Şekil 4.41: Eminönü istasyonunda belirlenen mavi fragmente ait Raman spektrumu



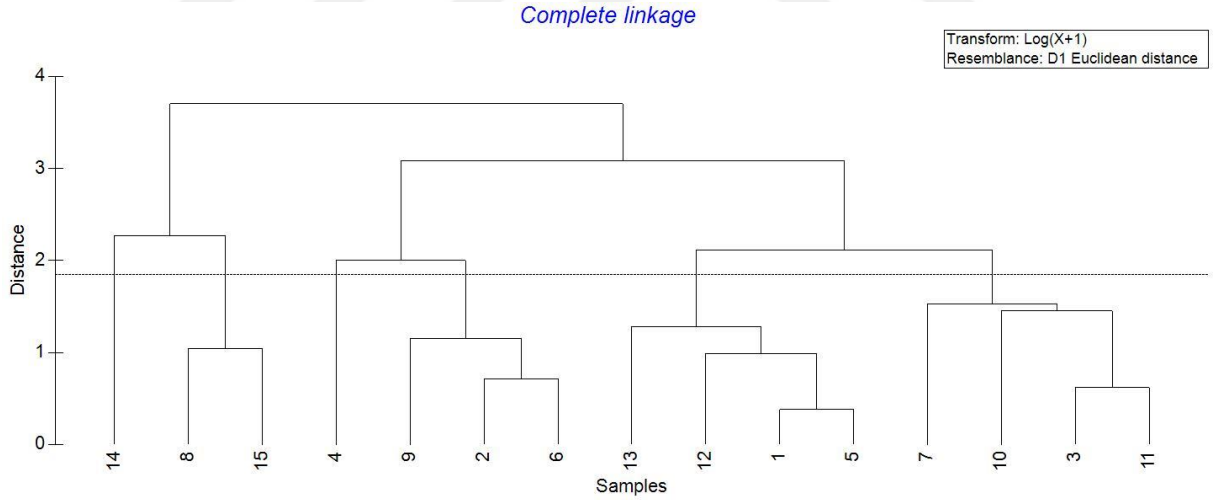
Şekil 4.42: Eminönü istasyonunda belirlenen mavi fragmente ait Raman spektrumu



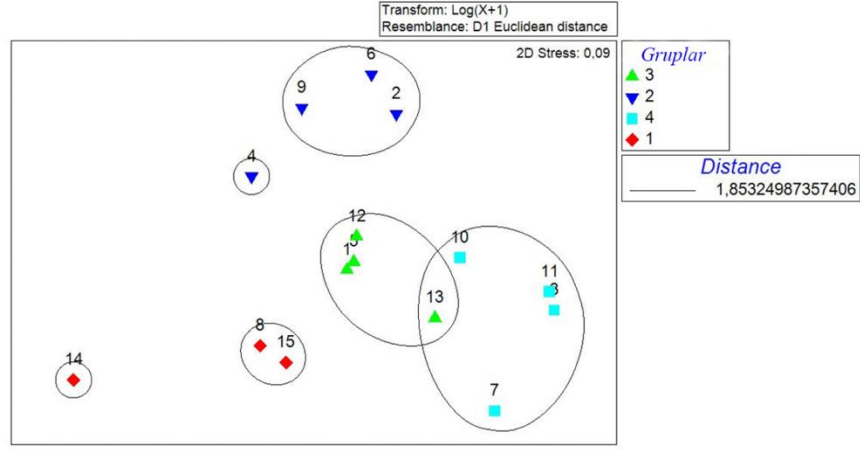
Şekil 4.43: Eminönü istasyonunda belirlenen kırmızı fibrile ait Raman spektrumu

4.5. ELDE EDİLEN MİKROPLASTİKLERE AİT İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

Öklid mesafesi indeksi ve çok boyutlu ölçekleme (MDS) yöntemleri uygulanarak, mikroplastiklerin şekil renk ve miktar olarak istasyonlardaki birikimlerine göre yakın özellikler gösteren istasyonlar gruplandırılmıştır. Öklid mesafesi ve MDS analiz sonuçları Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de gösterilmiştir.



Şekil 4.44: Öklid mesafesi ile istasyonların birbirleri ile mikroplastiklerin renk, şekil ve birikim yakınlıklarına göre gruplandırılması. (1. Eminönü, 2. Karaköy, 3. Kabataş, 4. Beşiktaş, 5. Ortaköy, 6. Kandilli, 7. Bebek, 8. Anadolu Hisarı, 9. Kanlıca, 10. İstinye, 11. Paşabahçe, 12. Beykoz, 13. Büyükdere, 14. Anadoluferi, 15. Rumelifeneri)



Şekil 4.45: Çok boyutlu ölçekleme (MDS) göre istasyonların gruplandırılması. (1. Eminönü, 2. Karaköy, 3. Kabataş, 4. Beşiktaş, 5. Ortaköy, 6. Kandilli, 7. Bebek, 8. Anadolu Hisarı, 9. Kanlıca, 10. İstinye, 11. Paşabahçe, 12. Beykoz, 13. Büyükdere, 14. Anadoluferi, 15. Rumelifeneri)

Şekil 4.44 ve Şekil 4.45 incelendiğinde Öklid mesafesine göre istasyonların kendi aralarında 4 grup oluşturduğu görülmektedir. Anadoluhisarı (8) ve Rumelifeneri (15) istasyonları 1. grubu (%1,04); Karaköy (2), Kandilli (6) ve Kanlıca (9) istasyonları 2. grubu (%1,15); Beykoz (12), Büyükdere (13), Eminönü (1) ve Ortaköy (5) istasyonları 3. grubu (%1,28); Bebek (7), İstinye (10), Kabataş (3) ve Paşabahçe (11) istasyonları ise 4. grubu (%1,53) oluşturmaktadır. Anadoluferi (14) ve Beşiktaş (4) istasyonları ise diğer istasyonlardan ayrılmışlardır. Ancak Anadoluferi (14) istasyonu 1. grup (%2,27) ile Beşiktaş (4) istasyonu ise 2. grup (%2) ile yakınlık göstermektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yaklaşık 20 milyon nüfuslu bir mega şehir olan İstanbul'u ikiye ayıran, yılda yaklaşık 45.000 geminin rotası üzerinde yer alan İstanbul Boğazı evsel ve endüstriyel atıkların yoğun olduğu bir bölgede yer almaktadır (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü Sektör Raporu, 2020). Evsel ve endüstriyel atıkların yanı sıra gemilerin de plastik kirliliğini arttırdığı bilinmektedir (Napper ve diğ., 2021).

İstanbul Boğazı yüzey sedimentindeki mikroplastik kirliliğini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada, en yüksek mikroplastik partikülü saptanan istasyon, İstanbul Boğazı'nın Karadeniz çıkışında yer alan Anadolu Feneri istasyonudur (4195 partikül/kg). Çalışmada örnek alınan diğer istasyonlara göre, şehir merkezinden uzak olması nedeniyle kirlilik baskısının daha az olduğunu düşündüğümüz bu bölgede birikimin yüksek olması şaşırtıcı bir sonuçtur. Ancak bu semtin önemli geçim kaynaklarından biri balıkçılıktır ve yerel balıkçılığın önemli plastik kaynaklarından biri olduğu daha önce yapılan çalışmalarda da ortaya konmuştur (Dowarah ve Devipriya, 2019). Elde edilen bu yüksek sonucun balıkçılık faaliyetleri ile ilişkili olabileceği düşünülebilir. Bu istasyon birikim bakımından istatistiksel olarak diğer istasyonlardan ayrılmıştır ancak Anadolu Hisarı ve Rumelifeneri istasyonlarına daha yakındır. Rumelifeneri istasyonu da çalışmada birikimin yüksek olduğu (2797 partikül/kg) 2. istasyon olarak belirlenmiştir. Bu semtte de balıkçılık faaliyetleri oldukça yoğundur (Öztürk ve diğ., 2002).

Anadolu Hisarı istasyonundaki mikroplastik kirliliği yoğunluğu 2597 partikül/kg olarak belirlenmiştir. Yapılan çalışmalara göre antropojenik aktivitelerin yüksek olduğu bölgelerde mikroplastik kirliliğinin daha fazla olduğu saptanmıştır (Manbohi ve diğ., 2021, Rasta ve diğ., 2021). Bu istasyonun bulunduğu bölgede yüksek nüfus yoğunluğu ve pek çok lokantanın bulunması nedeniyle bu antropojenik faktörlerin, kirliliğin artmasında etkili olduğu tezi bulgularımızla desteklenmiştir. Bölgedeki nüfus yoğunluğuna paralel olarak kullanımı artış gösteren çamaşır makineleri, mikroplastiklerin önemli kaynaklarından biridir (Pirc ve diğ., 2016). Ayrıca örnek alınan istasyonun çok yakınına dökülen Göksu Deresi ve Küçüksoy Deresi'nin de bölgedeki kirliliği ek olarak arttırabileceği düşünülmektedir. Daha önce yapılmış çalışmalarda da akarsuların mikroplastik partikülü taşıyıcısı oldukları belirlenmiştir (Pojar ve diğ., 2021).

Antropojenik aktivitenin çok yoğun olduğu Eminönü ve Karaköy istasyonlarında saptanan mikroplastik partikül miktarları sırasıyla 1998 partikül/kg ve 865 partikül/kg olmuştur. Birbirine oldukça yakın bu iki istasyon arasındaki toplam mikroplastik partikül sayıları arasında yaklaşık iki katı fark bulunmaktadır. Karaköy'de örnekleme sırasında kavkılı sediment yapısı gözlenmiştir. Az sayıda mikroplastik partikülü elde edilmesinde kaba taneli sediment yapısı etkili olmuş olabilir ancak çalışma sırasında tane boyutu analizi yapılmadığından bu durum net olarak ortaya konamamıştır. Ayrıca Karaköy istasyonunun İstanbul Boğazı'ndaki dikey karışımın en etkili olduğu güney bölgesinde yer alması sebebiyle bu karışımın mikroplastik partiküllerinin yüzey sedimentine çökmesini engellemiş olabileceği düşünülmektedir (Altıok, 2001). Bunun yanı sıra Karaköy istasyonuna oldukça yakın bir noktada yapılan başka bir çalışmada araştırmacılar çalıştıkları tüm istasyonlar arasında en az mikroplastik partikül miktarını Galata istasyonunda 26 partikül/kg olarak saptamışlardır (Doğruyol ve diğ., 2019).

Kandilli ve Kanlıca istasyonlarında belirlenen mikroplastik partikül miktarı sırasıyla 932,4 partikül/kg ve 1065,6 partikül/kg olarak saptanmıştır. Bu iki istasyonun da Karaköy istasyonu ile birlikte dahil olduğu üçlü grup istatistiksel olarak benzerlik oluşturmuşlardır. Üç istasyonun her birinde bulunan vapur iskelelerinin ve bu iskelelerden sağlanan deniz ulaşımının kirliliği oluşturan ve arttıran etkenlerden birisi olduğu düşünülmektedir. Bu düşünce daha önce yapılan çalışmalarda gemi ve teknelerin mikroplastik kirliliğini arttırdığını kanıtlayan çalışmalarla desteklenmiştir (Čulin ve Bielić, 2016; Napper ve diğ., 2021).

Çalışmadaki Beykoz (1398 partikül/kg), Büyükdere (2264 partikül/kg), Eminönü (1998 partikül/kg) ve Ortaköy (1598 partikül/kg) istasyonlarından oluşan grup istatistiksel olarak benzerlik gösteren bir diğer grup olmuştur. Bu istasyonlardan Beykoz ve Büyükdere'de bulunan hastaneler, kıyı şeridi boyunca yer alan çeşitli lokanta ve irili ufaklı kafeteryalara ek olarak deniz ulaşımında kullanılan taşıtların bölgedeki mikroplastik kirliliğini arttırdığı düşünülmektedir. Bu istasyon grubunun Eminönü ve Ortaköy istasyonlarında ise bu kirlilik kaynaklarına ek olarak kirlilik miktarı arasındaki istatistiksel benzerliğin sebebinin özellikle Eminönü'nün oldukça turistik bir bölge olması ve gün içinde aktif nüfusun çok yüksek olmasına bağlanmaktadır. Yapılan çalışmalar turistik bölgelerin mikroplastik kirliliğine daha fazla maruz kaldığını göstermektedir (Yu ve diğ., 2016; Retama ve diğ., 2016; Rey ve diğ., 2021).

Bir diğer grup ise Bebek (2664 partikül/kg), İstinye (1864 partikül/kg), Kabataş (2064 partikül/kg) ve Paşabahçe (1531 partikül/kg) istasyonlarından oluşan 4. grup olmuştur. Bu

istasyonlarda da özellikle Bebek ve Kabataş'taki yüksek antropojenik faaliyet ve turistik aktivitelerin kirliliğin benzer oranlarda olmasını desteklediği tahmin edilmektedir. Gemi trafiğinin de yoğun olduğu bölgelerde mikroplastik kirliliğinin yüksek seviyelerde olması bilinen bir gerçektir (Tamminga ve diğ., 2018). Paşabahçe istasyonunda ise mikroplastik kirliliğinin kaynaklarından birisinin bölgede 2009 yılından beri aktif olarak çalışan, günde 575.000 m³ su arıtma kapasiteli (TMMOB Çevre Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 2015) atık su ön arıtma tesisinin olabileceği düşünülmektedir. Tang ve Hadibarata, 2021 yılında yaptıkları araştırmada atık su tesislerinde arıtılan suda mikroplastik partiküller saptandığını rapor etmişlerdir.

Beşiktaş istasyonunda 1731 partikül/kg mikroplastik saptanmıştır. İstanbul'un oldukça yoğun nüfuslu ilçelerinden birisi olan Beşiktaş'ta buna ek olarak pek çok otel bulunmaktadır. Otellerdeki çamaşır yıkama servisleri (Retama ve diğ., 2016) ve bölgedeki evsel atıklar mikroplastik kirliliğinin kaynaklarını oluşturmaktadır.

İstanbul Boğazı yüzey sedimentinde çalışılan tüm istasyonlarda belirlenen toplam 29.570 partikül/kg mikroplastığın 28.704 partikül/kg kadarının fibril tipindeki mikroplastikler olduğu saptanmıştır. Geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde yüzey sedimentinde baskın mikroplastik partikül tipinin fibril olduğu görülmüştür (Naji ve diğ., 2017; Willis ve diğ., 2017; Deng ve diğ., 2020). Ayrıca yoğun evsel atıklardan birisi olan çamaşır makinelerinden çıkan atık suların fibril tipinde partiküllerin en önemli kaynaklarından biri olduğu bilinmektedir (Browne ve diğ., 2011).

Çalışılan tüm istasyonlarda belirlenen mikroplastik partiküllerini boyutlarına göre (0-1 mm, 1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm, 4-5 mm, 5 mm>) sınıflandırdığımızda 2 mm'den küçük mikroplastik partikül sayısının 363 adetle baskın (%81,76) olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonucun sedimentte yapılan diğer çalışmalarla da desteklendiği görülmektedir (Graca ve diğ., 2017; Mao ve diğ., 2021; Belivermiş ve diğ., 2021; Terzi ve diğ., 2021).

Türkiye'de ve dünyada farklı bölgelerde sedimentte yapılmış mikroplastik kirliliği çalışmalarının bu çalışmayla karşılaştırıldığı değerler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Türkiye'de ve dünyada farklı bölgelerde sedimentte yapılmış mikroplastik kirliliği çalışmaları.

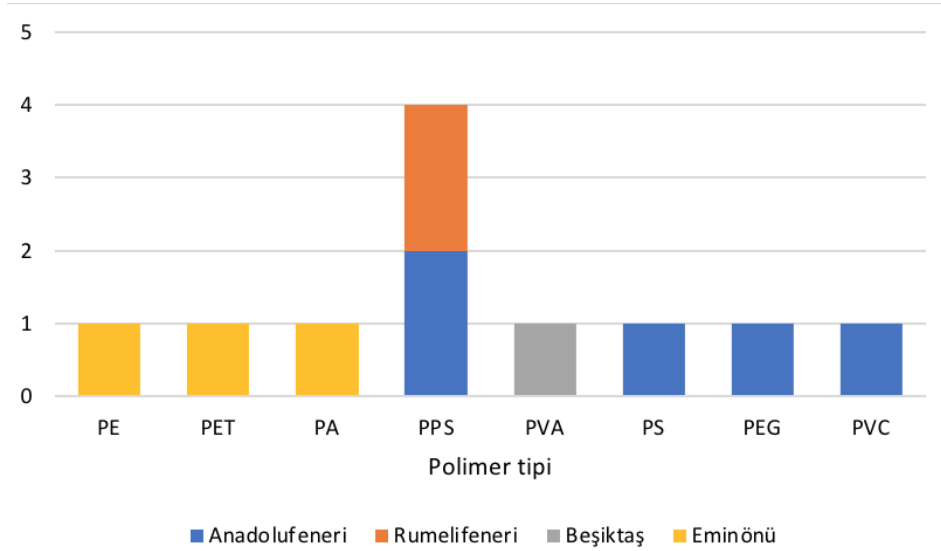
Konum	Mikroplastik Miktarı (partikül/kg)	Baskın Partikül Şekli	Baskın Polimer Tipi	Referans
İstanbul Boğazı	865,8-4195,8	Fibril	PPS	Bu çalışma
Marmara Denizi (Haliç)	0-140	Film	-	Doğruyol ve diğ., 2019
Marmara Denizi (Pendik-Tuzla)	13-5100	Fragment	ABS, EVA, PS	Baysal ve diğ., 2020
İstanbul (Marmara Denizi- İstanbul Boğazı)	224.8 ± 423.05, 3256.2 ± 5168.2	Fibril, Fragment	-	Erkan ve diğ., 2021
Güney Karadeniz	9.35 ± 3.06, 172.90 ± 8.09	Fragment, fibril	SAC, PET	Terzi ve diğ., 2021
Marmara Denizi (Haliç)	700-4100	Fragment, fibril	-	Belivermiş ve diğ., 2021
Venedik Lagünü (İtalya)	672-2175	Fragment	PE, PP	Vianello ve diğ., 2013
Güney Baltık Denizi (Polonya)	0-53	Fibril	PEST	Graca ve diğ., 2017
Jiaozhou Koyu (Çin)	2.5-27.5	Fibril	Rayon (Suni ipek), PET	Zheng ve diğ., 2020
Tayland Körfezi (Tayland)	150.4 ± 86.2	Fibril	Rayon (Suni ipek), PES	Wang ve diğ., 2020
Samos Adası (Yunanistan)	1.1 ± 0.9, 37.2 ± 6.9	Fibril, pelet	-	De Ruijter ve diğ., 2018
Akdeniz (Kuzey Tunus)	141.20±25.98, 461.25±29.74	Fibril	PE, PP	Abidli ve diğ., 2018
Karadeniz	0-390	Fragment	PE, PP	Cincinelli ve diğ., 2021
Annaba Körfezi (Cezayir)	182.66 ± 27.32, 649.33 ± 184.02	Fibril	PE	Tata ve diğ., 2020

Tablo 5.1'e bakıldığında, İstanbul Boğazı sedimentinde yapılmış olduğumuz bu çalışmada belirlediğimiz en yüksek mikroplastik partikül miktarı 4195,8 partikül/kg olmuştur. Bu değerin Marmara Denizi'nde daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalar olan Belivermiş ve diğ., (2021) ile Baysal ve diğ., (2020) ın çalışmalarının sonuçlarıyla (sırasıyla 700-4100 partikül/kg ve 13-5100 partikül/kg) benzer olduğu görülmektedir. Ancak elde edilen sonuçlar Erkan ve diğ., (2021) tarafından gerçekleştirilen Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı'nın bir kısmını kapsayan,

Doğruyol ve diğ. 2019 tarafından Haliç'te gerçekleştirilen mikroplastik kirliliği çalışmalarıyla karşılaştırıldığında bu çalışmada daha yüksek değerler elde edildiği görülmektedir.

Elde edilen veriler İstanbul Boğazı'nı Karadeniz ve Akdeniz'den gelen suların oluşturmalarına bağlı olarak Karadeniz ve Akdeniz'de yapılan çalışmalar ile de karşılaştırılmıştır. Karadeniz'de Terzi ve diğ., (2021) (172.90 ± 8.09 partikül/kg) ve Cincinelli ve diğ., (2021) (0-390 partikül/kg) tarafından yapılan mikroplastik kirliliği bu çalışmada saptanan birikimin çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Akdeniz'de Vianello ve diğ., (2013) (672-2175 partikül/kg) ve Tata ve diğ., (2020) (182.66 ± 27.32 - 649.33 ± 184.02 partikül/kg) tarafından yapılan mikroplastik kirliliği çalışmalarında da kirlilik miktarının daha düşük olduğu görülmektedir. İstanbul Boğazı'ndaki bu denli yüksek mikroplastik kirliliği İstanbul'da plastik kirliliğinin son derece tehlikeli boyutlara ulaştığını ortaya koymaktadır.

Tablo 5.1'e bakıldığında farklı konumlardaki denizlerin yüzey sedimentinde yapılan çalışmalarda belirlenen baskın polimer tiplerinin polipropilen (PP) ve polietilen (PE) olduğu görülmüştür. İstanbul Boğazı yüzey sedimentinin incelendiği bu çalışmada Raman spektroskopisinde dört farklı istasyondan analiz edilen 8 farklı tipte toplam 11 adet polimer tiplerinin dağılımları Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1: İstanbul Boğazı yüzey sedimentinde saptanan mikroplastiklerin polimer dağılımları.

Şekil 5.1'de de görüldüğü gibi belirlenen polimer tipleri arasında baskın olan polimer tipi kirliliğin en fazla olduğu iki istasyon olan Anadolufeneri ve Rumelifeneri istasyonlarında polifenilen sülfid (PPS) olarak saptanmıştır. PPS teknik tekstil ürünlerinde kullanılan bir plastik çeşittir (Kalaycı ve diğ., 2016). Her iki istasyonda, bu polimer tipinin tespit edilmesinde balıkçılık faaliyetlerinin etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Anadolufeneri istasyonunda gıda paketlenmede (Landrock, 1995) kullanılan polistiren (PS), polietilen glikol (PEG) ve inşaat sektöründe sık kullanılan (Patrick, 2005) polivinil klorür (PVC) tipte polimerler de belirlenmiştir. Özellikle üçüncü boğaz köprüsü inşaatının istasyonda PVC polimer tipi belirlenmesinde rol oynadığı tahmin edilmektedir. Eminönü istasyonunda üç farklı polimer tipi saptanmıştır. Bu polimer tipleri paketlenme, oyuncak ve tekstil sektörlerinde kullanılan polietilen (PE) (Yurtsever, 2015; Ronca, 2017), su şişelerinde kullanılan polietilen tereftalat (PET) (Awaja ve Pavel, 2005) ve otomotiv ve tekstilde sıklıkla kullanılan poliamid (PA) (Gong ve diğ., 2021) olarak saptanmıştır. Eminönü'ndeki günlük yaya ve otomobil trafiği göz önünde bulundurulduğunda istasyonda belirlenen PET ve PA polimerlerinin kaynakları hakkında bir tahmine varılmıştır. Ayrıca bu polimerler Marmara Denizi'nde Baysal ve diğ., (2020) tarafından yapılan çalışmada saptanan polistiren (PS) ve Terzi ve diğ., (2021) tarafından yapılan çalışmada belirlenen polietilen tereftalat (PET) tipte polimerle benzerlik göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile İstanbul Boğazı'nda, yüzey sedimentindeki mikroplastik kirliliği partiküllerin renk, şekil ve boyutlarına göre dağılımları ortaya çıkartılmıştır. Bunun yanı sıra belirlenen partiküller Raman spektroskopisi kullanılarak polimer tiplerine göre karakterize edilmiştir. Daha önce Marmara Denizi'nde yapılan çalışmalarda, İstanbul Boğazı'nda sadece birkaç istasyonun bulunduğu görülmektedir. Bu çalışma ile İstanbul Boğazı mikroplastik kirliliği detaylı olarak incelenmiş ve bölgedeki kirliliğe dikkat çekilmeye çalışılmıştır. Bu araştırma, gelecekte yapılacak yeni çalışmalarla daha da fazla veri elde edilerek, tüm dünyayı etkisi altına alan mikroplastik kirliliği hakkında önlemler alınmasının ve bu önlemlerin gerçek hayata geçirilmesinin gerekliliğini ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- Abidli, S., Antunes, J., C., Ferreira, J., L., Lahbib, Y., Sobral, P., El Menif, N., T., 2018, Microplastics in sediments from the littoral zone of the north Tunisian coast (Mediterranean Sea), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 205, 1-9.
- Altıok, H., 2001, *İstanbul Boğazı Karadeniz Çıkışında Su Kütlelerinin Mevsimsel Değişimi*, Doktora Tezi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.
- Amaral-Zettler, A., L., Zettler, R., E., Slikas, B., Boyd, D., G., Melvin, D., W., Morrall, C., E., Proskurowski, G., Mincer, T., J., 2015, The biogeography of the plastisphere: implication for policy, *Frontiers in Ecology and the Environment* 13, 541-546
- Anagnosti, L., Varvaresou, A., Pavlou, P., Protopapa, E., 2021, Worldwide actions against plastic pollution from microbeads and microplastics in cosmetics focusing on European policies. Has the issue been handled effectively?, *Marine Pollution Bulletin*, 162(1), 111-883.
- Andrady, L., A., 2011, Microplastics in the marine environment, *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-605
- Awaja, F., Pavel, D., 2005, Recycling of PET, *European Polymer Journal* 41, 1453-1477.
- Aytan, U., Esensoy, F., B., Senturk, Y., Arifoğlu, E., 2021, Plastic Occurrence in Commercial Fish Species of the Black Sea, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 22(12).
- Bahl S., Dolma J., Singh J.J., Sehgal S., 2020, Biodegradation of plastics: A state of the art review, *Materials Today: Proceedings*, 2214-7853.
- Barnes, D., K., A., Galgani, F., Thompson R., C., Barlaz, M., 2009, Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments, *Philosophical Transactions of The Royal Society*, 364, 1985-1998.
- Baysal A., Saygin H., Ustabasi G. S., 2020, Microplastic Occurrences in Sediments Collected from Marmara Sea-Istanbul, Turkey, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105, 522-529.
- Beaumont N.J., Aanesen M., Austen C. M., Börger T., Clark R. J., Cole M., Hooper T., Lindeque P.K., Pascoe C., Wyles, K.J., 2019, Global ecological, social and economic impacts of marine plastic, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 142, 189-195, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.022>
- Belivermiş, M., Kılıç, Ö., Sezer, N., Sıkdokur, E., Güngör, N., D., Altuğ, G., 2021, Microplastic inventory in sediment profile: A case study of Golden Horn Estuary, Sea of Marmara, *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113-117.
- Bergmann, M., Lutz, B., Tekman, M., B., Gutow, L., 2017, Citizen scientists reveal: Marine litter pollutes Arctic beaches and affects wild life, *Marine Pollution Bulletin*, 125, 535-540.

- Betts, K., 2008, Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans, *Environmental Science & Technology*, 42, 24, 8995.
- Biron, M., 2004, *Thermosets and Composites*, Technical Information for Plastics Users, United Kingdom, ISBN: 1856174115
- Blight, L., K., Burger, A., E., 1997, Occurrence of plastic particles in seabirds from the eastern North Pacific, *Marine Pollution Bulletin*, 34(5), 323-325
- Boerger, C, M, Lattin G, L, Moore S, L, Moore C, J, 2010, Plastic ingestion by planktivorous fishes in the Pacific Central Gyre, *Marine Pollution Bulletin*, 60(12), 2275-8.
- Bonanno, G., Orlando-Bonaca, M., 2020, Marine plastics: What risks and policies exist for seagrass ecosystems in the Plasticene?, *Marine Pollution Bulletin*, 158, 11425.
- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tontin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011, Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks, *Environmental Science & Technology*, 45,21, 9175-9179
- Carpenter, E.J. ve Smith, K., 1972, Plastics on the Sargasso Sea Surface, *Science*, 175, 1240-1241.
- Chowdhury, H., Chowdhury, T., Sait, M., S., 2021, Estimating marine plastic pollution from COVID-19 face masks in coastal regions, *Marine Pollution Bulletin* 168, 112-419.
- Cincinelli, A., Scopetani, C., Chelazzi, D., Martellini, T., Pogojeva, M., Slobodnik, J., 2021, Microplastics in the Black Sea sediments, *Science of the Total Environment*, 760, 143-898.
- Clarke, K., R., Warwick, R., M., 2001, *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Primer-E Ltd: Plymouth, UK.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T., S., 2011, Microplastics as contaminants in the marine environment: a review, *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-97.
- Cowger, W., C., Gray, A., B., Christiansen, S., Defrond, H., 2020, Critical Review of Processing and Classification Techniques for Images and Spectra in Microplastic Research, *Applied Spectroscopy*, 74(9).
- Cowger, W., C., Steinmetz, Z., Gray, A., B., Munno, K., 2021, Microplastic Spectral Classification Needs an Open Source Community: Open Specy to the Rescue!, *Analytical Chemistry*, 93(21), 7543-7548.
- Čulin, J., Bielić, T., 2015 Plastic Pollution from Ships, *Journal of Maritime & Transportation Science* 51(1), 57-66.
- Çullu, A., F., Sönmez V., Z., Sivri, N., 2021, Microplastic contamination in surface waters of the Küçükçekmece Lagoon, Marmara Sea (Turkey): Sources and areal distribution, *Environmental Pollution*, 268, 115-801.

- Davison, P., Asch, R., 2013, Plastic ingestion by mesopelagic fishes in the North Pacific Subtropical Gyre, *Marine Ecology Progress Series*, 432, 173-180.
- De Ruijter, V., N., Milou, A., Costa, V., 2019, Assessment of microplastics distribution and stratification in the shallow marine sediments of Samos island, Eastern Mediterranean sea, Greece, *Mediterranean Marine Science*, 20(4), 736-744.
- Deng, H., Wei, R., Luo, W., Hu, L., Li, B., Di, Y., Shi, H., 2020, Microplastic pollution in water and sediment in a textile industrial area, *Environmental Pollution*, 258, 113-658.
- Derraik, J., G., B., 2002, The pollution of the marine environment by plastic debris: a review, *Marine Pollution Bulletin*, 44, 842-852.
- Devlet Planlama Teşkilatı, 2001, *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Plastik Ürünleri Sanayi Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, [Kasım 2021].
- Doğruyol, P., Şener, M., Balkaya, N., 2019, Determination of microplastics and large plastics in the sediments of the Golden Horn Estuary (Halic), Istanbul, Turkey, *Desalination and Water Treatment*, 172, 344-350.
- Dowarah, K., Devipriya, S., P., 2019, Microplastic prevalence in the beaches of Puducherry, India and its correlation with fishing and tourism/recreational activities, *Marine Pollution Bulletin*, 148, 123-133.
- Erkan, H., S., Turan, N., B., Albay, M., Engin, G., O., 2021, Microplastic pollution in seabed sediments at different sites on the shores of Istanbul-Turkey: Preliminary results, *Journal of Cleaner Production*, 328, 129-539.
- Erni-Cassola, G., Zadjelovic, V., Gibson I., M., Christie-Oleza, A., J., 2019, Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis, *Journal of Hazardous Materials*, 369, 691-698.
- Falco, D., F., Di Pace, E., Cocca, M., Avella, M., 2019, The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution, *Scientific Reports*, 9(1), 6633.
- Frias, J., P., G., L., Nash, R., 2019, Microplastics: Finding a consensus on the definition, *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145-147.
- GESAMP, 2015, *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment*, <http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90> [Kasım 2021].
- GESAMP, 2019, *Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter in the Ocean*, <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for-the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean>, [Kasım 2021].
- Gong, S., Zhao, S., Chen, X., Liu, H., Deng, J., Li, S., Feng, X., Li, Y., Wu, X., Pan, K., 2021, Thermoplastic Polyamide Elastomers: Synthesis, Structures/Properties, and Applications, *Macromolecular Materials and Engineering*, 306, 12, 2100568.

- Graca, B., Szewc, K., Zakrzewska, D., Dołęga, A., Szczerbowska-Boruchhowska, M., 2017, Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea- a preliminary study, *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 7650-7661.
- Gregory, M., R., 1996. Plastic ‘scrubbers’ in hand cleansers: a further (and minor) source for marine pollution identified. *Marine Pollution Bulletin*, 32, 867–871
- Gregory, M., R., Andrady, A., L., 2003, Plastics in the marine environment, *Plastics and the Environment*, 379-401.
- Guo, X., Wang, J., 2019, The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review, *Marine Pollution Bulletin*, 142, 1-14.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 1997, *Plastikler, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, Ankara, ISBN: 975-8088-51-3
- Gündoğdu, S., Cem, C., 2017, Micro- and mesoplastics in Northeast Levantine coast of Turkey: The preliminary results from surface samples, *Marine Pollution Bulletin*, 118(1), 341-347.
- Güven, O., Gökdağ, K., Jovanovic, B., 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.
- İstanbul Atıksu Arıtma Tesisleri ve Kirleticilerin Değerlendirilmesi, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi (Eylül 2015), https://www.cmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=93099&tipi=67&sube=2, [Kasım 2021]
- Jaeblo, T., 2010, Polymethylmethacrylate: properties and contemporary uses in orthopaedics. *J. Am. Acad. Orthop. Surg*, 18 (5), 297-305.
- Jambeck J., R., Geyer R., Wilcox C., Siegler R., T., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law L.K., 2015, Plastic waste inputs from land into the ocean, 347, 768-771.
- Kalaycı E., Avinc O., Yavaş A., 2016, Polifenilen Sülfid (PPS) Lifleri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(1), 88-103.
- Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü Sektör Raporu, 2020, <https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/Data/1/Files/Document/Documents/J8/ov/0T/Eh/2020%20YI LI%20SEKT%C3%96R%20RAPORU%20.pdf>, [Ekim 2021].
- Kole, P., J., Löhr, A., J., Belleghem, F., G., A., J., Ragas, A., M., J., 2017, Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment, *Int J Environ Res Public Health*, 14(10), 1265.
- Lampman, S., 2003, *Characterization and Failure Analysis of Plastics*, ASM International, U.S.A., ISBN: 0-87170-789-6.

- Landrock, A., H., 1995, *Handbook Of Plastic Foams Types, Properties, Manufacture and Applications*, Noyes Publications, U.S.A., ISBN: 0-8155-1357-7.
- Li, J., Qu, X., Su, L., Zhang, W., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D., Shi, H., 2016, Microplastics in the mussels along the coastal waters of China, *Environmental Pollution*, 214, 177-184.
- Liebezeit, G., Dubaish, F., 2012, Microplastics in Beaches of the East Frisian Islands Spiekeroog and Kachelotplate, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89(1), 213-7.
- Lubecki, L., Kowalewska G., 2019, Plastic-derived contaminants in sediments from the coastal zone of the southern Baltic Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 146, 255-262.
- Maes T., Perry J., Alliji K., Clarke C., Birchenough, N.R., 2019, Shades of grey: Marine litter research developments in Europe, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 146, 274-281
- Manbohi, A., Mehdinia, A., Rahnama, R., Dehbandi, R., Hamzehpour, A., 2021, Spatial distribution of microplastics in sandy beach and inshore-offshore sediments of the southern Caspian Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 169, 112-578.
- Mao, R., Song, J., Yan, P., Quyang, Z., Wu, R., Liu, S., Guo, X., 2021, Horizontal and vertical distribution of microplastics in the Wuliangsu Lake sediment, northern China, *Science of the Total Environment*, 754, 142-426.
- Mckeen, L., 2018, *The Effect of Sterilization Methods On Plastics And Elastomers*, William Andew, United Kingdom, 978-0-12-814511-1.
- Naji, A., Esmaili, Z., Khan, F., R., 2017, Plastic debris and microplastics along the beaches of the Strait of Hormuz, Persian Gulf, *Marine Pollution Bulletin*, 114, 1057-1062.
- Napper, I., E., Wright, L., S., Barrett, A., C., Parker-Jurd, F., N., F., Thompson, R., C., 2021, Potential microplastic release from the maritime industry: Abrasion of rope, *Science of the Total Environment*, 804, 150-155.
- Neves, D., Sobral, P., Ferreira, J.L., 2015, Ingestion of microplastics by commercial fish off the Portuguese coast, *Marine Pollution Bulletin*, 101, 119-126.
- Orhon, D., Sözen, S., Kirca, V., S., O., Duba, S., Mermutlu, R., Sumer, B., M., 2021, Pollutant dynamics between The Black Sea and The Marmara Sea: Basis for wastewater management strategy, *Marine Pollution Bulletin*, 168, 112-388.
- Öztürk, A., A., Karakulak, S., Öztürk, B., 2002, Fishing Activities in the Istanbul Strait, 16-17 Nov. 2002, *Proc. of the Symposium on the Straits used for International Navigation*, Istanbul-Turkey.
- PAGEV, 2015, Plastik Sektör Raporu, <https://pagev.org/turkiye-plastik-sektor-izleme-raporu-2015-ilk-9-ay> [Kasım, 2021].

- PAGEV, 2016, Dünya Plastik Sektör Raporu, <https://pagev.org/dunya-plastik-sektor-raporu-2016-58984b2f8a497>, [Ekim, 2021].
- PAGEV, 2018, Plastik Sektör Raporu, <https://pagev.org/turkiye-plastik-sektor-izleme-raporu-2018-6-aylik-5b6d529aee324> [Ekim, 2021].
- PAGEV, 2020, Türkiye Plastik İzleme Sektör Raporu, <https://pagev.org/turkiye-plastik-sektor-izleme-raporu-2020-601b95c394d04> [Ekim, 2021].
- Patrick, S., 2005, *Practical Guide To Polyvinyl Chloride*, Rapra Technology Limited, United Kingdom, ISBN: 1-85957-511-01
- Pirc, U., Vidmar, M., Mozer, A., Kržan, A., 2016, Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing, *Environmental Science and Pollution Research* 23(21).
- Piyawardhana, N., Weerathunga, V., Chen, H., Guo, L., Huang, P., Ranatunga, R., R., M., K., P., Hung, C., 2021, Occurrence of microplastics in commercial marine dried fish in Asian countries, *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127-093.
- Plastic Soup Foundation, 2019, Annual Report, https://www.plasticsoupfoundation.org/wp-content/uploads/2020/09/PSF200829_jaarverslag_2019-UK.pdf
- Plastics Europe, 2015, The Facts, <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2015/>, [Kasım, 2021].
- Plastics Europe, 2020, The Facts, <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/>, [Kasım, 2021].
- Pojar, I., Stănică, A., Stock, F., Kochleus, C., Schultz, M., Bradley, C., 2021, Sedimentary microplastic concentrations from the Romanian Danube River to the Black Sea, *Scientific Reports*, 11(1).
- Prata, J., C., Da Costa, J., P., Lopes, I., Costa Duarte, A., D., 2019, Effects of microplastics on microalgae populations: A critical review, *Science of the Total Environment*, 665.
- Rasta, M., Rahimibashar, M., R., Jafroudi, H., T., Fakheri, S., Kouhbane, S., T., Taridashti, F., 2021, Microplastics in Sediments of Southwest Caspian Sea: Characteristics, Distribution and Seasonal Variability, Soil and Sediment Contamination: *An International Journal*, DOI: [10.1080/15320383.2021.2010648](https://doi.org/10.1080/15320383.2021.2010648)
- Ravindranath, K., Mashelkar, R., A., 1984, Finishing stages of PET synthesis: A comprehensive model, *AIChE Journal*, 30, 415-422.
- Reed, S., Clark, M., Thompson, R., Hughes, K., A., 2018, Microplastics in marine sediments near Rothera Research Station, Antarctica, *Marine Pollution Bulletin*, 133, 460-463.
- Renzi, M., Blašković, A., 2020, Chemical fingerprint of plastic litter in sediments and holothurians from Croatia: Assessment & relation to different environmental factors, *Marine Pollution Bulletin*, 153, 110-994.

- Retama, I., Jonathan, M., P., Shruti, V., C., Velumani, S., Sarkar, S., K., Roy, P., D., Rodríguez-Espinosa, P., F., 2016, Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico, *Marine Pollution Bulletin*, 113, 530-535.
- Rey, S., F., Franklin, J., Rey, S., J., 2021, Microplastic pollution on island beaches, Oahu, Hawai'i, *PLoS ONE* 16(2), e0247224. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247224>
- Ronca, S., 2017, *Chapter 10, Polyethylene*, Brydson's Plastics Materials, Elsevier, U.S.A.
- Ryan, P., G., 2015, A Brief History of Marine Litter Research, *Marine Anthropogenic Litter*, 1-25.
- Ryan, P., G., Moore, C., J., Van Franeker, J., A., Moloney, C., 2009, Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment, *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 364(1526), 1999-2012.
- Silva, B., A., Bastos, A., S., Justino, C., I., L., Costa, J., P., Duarte, C., Rocha-Santos, T., A., P., 2018, Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review, *Analytica Chimica Acta*, 1017, 1-19.
- SPREP, 2014, Secretariat of the Pacific Regional Environment Programme (SPREP), Apia, Samoa, <https://library.sprep.org/content/marine-debris-pollution-pacific-literature-review>
- Tamminga, M., Hengstmann, E., Fischer, E., 2018, Microplastic analysis in the South Funen Archipelago, Baltic Sea, implementing manta trawling and bulk sampling, *Marine Pollution Bulletin*, 128, 601-608.
- Tang, K., H., D., Hadibarata, T., 2021, Microplastics removal through water treatment plants: Its feasibility, efficiency, future prospects and enhancement by proper waste management, *Environmental Challenges*, 5, 100-264.
- Tata, T., Belabed, B., E., Bououdina, M., Bellucci, S., 2020, Occurrence and characterization of surface sediment microplastics and litter from North African coasts of Mediterranean Sea: Preliminary research and first evidence, *Science of the Total Environment*, 713, 136-664.
- Terzi, Y., Gedik, K., Eryaşar, A., R., Öztürk, R., Ç., Şahin, A., Yılmaz, F., 2021, Microplastic contamination and characteristics spatially vary in the southern Black Sea beach sediment and sea surface water, *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113-228.
- Thompson, R., C., Olsen, Y., S., Mitchell, R., P., Davis, A., 2004, Lost at Sea: Where is all the plastic?, *Science*, 304(5672), 838.
- Thushari, G. G. N., Senevirathna J.D.M., 2020, Plastic pollution in the marine environment, *Heliyon*, Volume 6, Issue 8
- Tourinho, P., S., Ivar do Sul, J., A., Fillmann, G., 2009, Is marine debris ingestion still a problem for the coastal marine biota of southern Brazil?, *Marine Pollution Bulletin*, 60(3), 396-401.

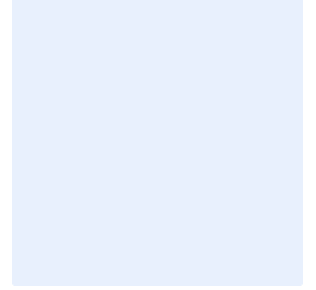
- Usluer, H. B., Alkan, G., 2016, Importance of the marine science and charting about environmental planning, management and policies at the Turkish Straits, *European Journal of Sustainable Development Research* 1(1), 16-25.
- Ünlüata, U., Oğuz, T., Latif, M. A., Özsoy, E., 1990, The Physical Oceanography of Sea Straits - Kluwer, Dortrecht.
- Vardar, S., Onay, T., T., Demirel, B., Kideys, A., E., 2021, Evalution of microplastics removal efficiency at a wastewater treatment plant discharhing to the Sea of Marmara, *Environmental Pollution*, 289, 117-862.
- Verster, C, Bouwman, H, 2020, Land-based sources and pathways of marine plastics in a South African context, *South African Journal of Science*, 116(5/6)
- Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., Da Ros, L., 2013, Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurence, spatial patterns and identification, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 54-61.
- Wang, Y., Zou, X., Peng, C., Qiao, S., Wang, T., Yu, W., Khokiattiwong, S., Kornkanitnan, N., 2020, Occurence and distribution of microplastics in surface sediments from the Gulf of Thailand, *Marine Pollution Bulletin*, 152, 110-916.
- Welden A. N., 2020, The environment impacts of plastic pollution, *Plastic Waste and Recyling*, 195-222.
- Welden, N., Lusher, A., 2020, Chapter 9 - Microplastics: from origin to impacts, Plastic Waste and Recyling, *Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions*, 223-249.
- Willis, K., A., Eriksen, R., Wilcox, C., Hardesty, B., D., 2017, Microplastic Distribution at Different Sediment Depths in an Urban Estuary, *Frontiers in Marine Science*, 4, 419.
- Wright, S., L., Thompson, R., C., Galloway, T. S, 2013, The Physical impacts of microplastics on marine organism: A review, *Environmental Pollution*, 178, 483-492.
- Wu, C., Zhang, K., Xiong, X., 2018, Microplastic Pollution in Inland Waters Focusing on Asia, *Freshwater Microplastics*, 85-99.
- Yu, X., Peng, J., Wang, J., Wang, K., Bao, S., 2016, Occurence of microplastics in the beach sand of the Chinese inner sea: the Bohai Sea, *Environmental Pollution*, 214, 722-730.
- Yurtsever, M., 2015, Mikroplastiklere Genel Bir Bakış, *Dergipark*, 50, 68-83.
- Yüce, E., A., Kılıç, M., 2014, PVC ve PET Atıkların Seçimli Flotasyonu Bölüm 1: Plastikler, Çevresel Etkileri, Geri Dönüşümü, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 29(2), 79-94.

- Zhao, J., Ran, W., Teng, J., Liu, Y., Liu, H., Yin, X., Cao, R., Wang, Q., 2018, Microplastic pollution in sediments from the Bohai Sea and the Yellow Sea, China, *Science of the Total Environment*, 640-641, 637-645.
- Zheng J., Suh S., 2019, Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics, *Nature Climate Change*, 9, 374-378.
- Zheng Y., Li J., Cao W., Jiang F., Zhao C., Ding H., Wang M., Gao F., Sun C., 2020, Vertical distribution of microplastics in bay sediment reflecting effects of sedimentation dynamics and anthropogenic activities, *Marine Pollution Bulletin*, 110-885.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Batuhan Olguner
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
E-Posta Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Su Bilimleri Fakültesi
Bölümü	Su Bilimleri Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	22.01.2018