

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORDU İLİ SAHİLLERİNDE (TÜRKİYE)
MİKROPLASTİK KAREKTERİZASYONU,
BOLLUĞU VE DAĞILIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI : Tuğba KILIÇ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Enstitü Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Arzu AYDIN
UNCUMUSAOĞLU

Haziran 2024
GİRESUN

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORDU İLİ SAHİLLERİNDE (TÜRKİYE)
MİKROPLASTİK KAREKTERİZASYONU,
BOLLUĞU VE DAĞILIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba KILIÇ

Enstitü Anabilim Dalı

: Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez 09/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Cengiz MUTLU

Jüri Başkanı

Doç. Dr.
Arzu AYDIN
UNCUMUSAOĞLU

Üye

Dr. Öğr. Üyesi
Eylem AYDEMİR ÇİL

Üye

Prof. Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Tuğba KILIÇ

03/06/2024

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen, araştırma konusunda beni yönlendiren, deneyimlerinden yararlandığım, her daim yanımda olan çok kıymetli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Arzu AYDIN UNCUMUSAOĞLU başta olmak üzere tüm Anabilim Dalı hocalarıma en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarım sırasında ve ekipman temini konusunda büyük destekleri olan kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Cengiz MUTLU'ya teşekkürlerimi iletiyorum.

Arazi çalışmalarımda büyük yardımları olan sevgili kardeşim Ahmet Altuğ KILIÇ' a ve maddi manevi desteklerini hiç esirgemeyen sevgili babam Mustafa KILIÇ'a, babaannem Meliha KILIÇ'a minnettarlığımı ifade etmek isterim.

Ayrıca maddi desteklerinden dolayı Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: FEN-BAP-C-230123-11) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	X
ÖZET.....	XI
SUMMARY.....	XII

BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Plastikler.....	4
2.1.1. Plastiklerin Genel Özellikleri.....	5
2.1.2. Türlerine Göre Plastikler.....	6
2.1.3. Plastiklerin Kullanım Alanları.....	6
2.1.4. Plastik Reçine Tanımlama Ve Geri Dönüşüm Kodlama Sistemi.....	9
2.1.5. Boyutlarına Göre Plastikler.....	11
2.2. Mikroplastikler.....	11
2.2.1. Mikroplastik Kaynakları ve Taşınımı.....	12
2.2.2. Oluşum Kaynağına Göre Mikroplastikler.....	15
2.2.3. Mikroplastiklerin Sınıflandırılması.....	17
2.3. Literatür.....	18

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
----------------------------------	----

3.1. Örnekleme.....	32
3.2. Numunelerin Hazırlanması ve Mikroplastik Analizi.....	36
3.3. FT-IR Spektroskopi Analizi.....	38
3.4. Mikroplastiklerin Sağlık Üzerindeki Potansiyel Etkileri.....	38
3.5. Veri analizi.....	39
BÖLÜM 4. BULGULAR.....	40
4.1. Renk Analizi.....	40
4.2. Tip Analizi.....	47
4.3. Boyut Analizi.....	54
4.4. FT-IR Analizi.....	61
4.5. Mikroplastiklerin Potansiyel Sağlık Etkileri.....	68
4.6. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA).....	69
4.7. Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA).....	70
BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	72
KAYNAKÇA.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

>	: Büyüktür
<	: Küçüktür
%	: Yüzde
ABS	: Akrilonitril Bütadien Stiren
ATR-FTI	: Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared
C	: Karbon
dk	: Dakika
DYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
EP	: Epoksi
EPS	: Polistriren
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometresi
g	: Gram
GF/F	: Cam mikrofiber filtre
H	: Hidrojen
HCL	: Hidroklorik Asit
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
km ²	: Kilometrekare
KOK	: Kalıcı Organik Kirletici
L	: Litre
LDIR	: Lazer Doğruda Kızılötesi
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
m	: Metre
m ²	: Metrekare

m ³	: Metreküp
mg	: Miligram
mm	: Milimetre
MP	: Mikroplastik
MPs	: Mikroplastikler
N	: Azot
O	: Oksijen
°C	: Santigrat Derece
PA	: Polyamid
PC	: Polikarbonat
PCB	: Poliklorlu Bifeniller
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen Tereftalat
PF	: Fenol-Formaldehit
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PTFE	: Politetrafloroetilen
PUR	: Poliüretan
PVAC	: Polivinil Asetat
PVC	: Polivinilklorür
RPM	: Dakikadaki devir sayısı
UP	: Poliyester Reçineleri
v	: Hacim
YYPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
µm	: Mikrometre

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Geri dönüşüm kodları ve kimyasal yapılarıyla birlikte piyasada bulunan altı yaygın plastik.....	11
Şekil 2.2. Birincil ve ikincil kaynaklı mikroplastikler.....	17
Şekil 3.1. Örnekleme alanı fotoğrafları	34
Şekil 3.2. İstasyonlar Haritası	34
Şekil 3.3. Kum Örneklerinin Toplanması.....	35
Şekil 3.4. Denizsuyu Örneklerinin Alınması	35
Şekil 3.5. Sediment numunelerinin hazırlanması.....	38
Şekil 3.6. Su ve sediment numunelerinin hazırlanması	38
Şekil 4.1. Renklerine göre mikroplastiklerin genel dağılımı	40
Şekil 4.2. İstasyonlara göre mikroplastiklerin genel renk dağılımlar	41
Şekil 4.3. İstasyon 1’den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları.....	41
Şekil 4.4. İstasyon 1’den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları	42
Şekil 4.5. İstasyon 2’den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları.....	42
Şekil 4.6. İstasyon 2’den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları.....	43
Şekil 4.7. İstasyon 3’ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları.....	43
Şekil 4.8. İstasyon 3’ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları.....	44
Şekil 4.9. İstasyon 4’ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları.....	44

Şekil 4.10. İstasyon 4'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları	45
Şekil 4.11. İstasyon 5' ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları.....	45
Şekil 4.12. İstasyon 5'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları.....	46
Şekil 4.13. İstasyon 6' dan alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları.....	46
Şekil 4.14.İstasyon 6' dan alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları	47
Şekil 4.15. Mikroplastiklerin tipine göre genel dağılımı.....	47
Şekil 4.16. İstasyon 1'den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tipine göre dağılımları.....	48
Şekil 4.17. İstasyon 1'den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tipine göre dağılımları.....	48
Şekil 4.18. İstasyon 2'den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tipine göre dağılımları.....	49
Şekil 4.19. İstasyon 2'den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları.....	49
Şekil 4.20. İstasyon 3'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları.....	50
Şekil 4.21. İstasyon 3'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları	50
Şekil 4.22. İstasyon 4'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları	51
Şekil 4.23. İstasyon 4'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları	51
Şekil 4.24. İstasyon 5'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları.....	52
Şekil 4.25. İstasyon 5'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları	52

Şekil 4.26. İstasyon 6'dan alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları.....	53
Şekil 4.27. İstasyon 6'dan alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları	53
Şekil 4.28. Yaygın mikroplastik tipleri.....	54
Şekil 4.29. Boyutlarına göre mikroplastik dağılımları (%)	55
Şekil 4.30. İstasyon 1'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi	55
Şekil 4.31. İstasyon 1'deki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi.....	56
Şekil 4.32. İstasyon 2'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi	56
Şekil 4.33. İstasyon 2'deki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi	57
Şekil 4.34. İstasyon 3'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi.....	57
Şekil 4.35. İstasyon 3'teki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi.....	58
Şekil 4.36. İstasyon 4'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi	58
Şekil 4.37. İstasyon 4'deki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi.....	59
Şekil 4.38. İstasyon 5'teki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi	59
Şekil 4.39. İstasyon 5'teki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi	60
Şekil 4.40. İstasyon 6'daki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi.....	60
Şekil 4.41. İstasyon 6'daki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi.....	61
Şekil 4.42. Mikroplastiklerin türüne göre genel dağılımları	61
Şekil 4.43. Ordu İli sahillerinde bulunan mikroplastiklerin FTIR spektrumları	62

Şekil 4.44. İst.1 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları.....	62
Şekil 4.45. İst.1 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları	63
Şekil 4.46. İst.2 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları.....	63
Şekil 4.47. İst.2 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları	64
Şekil 4.48. İst.3 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları.....	64
Şekil 4.49. İst.3 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları	65
Şekil 4.50. İst.4 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları	65
Şekil 4.51. İst.4 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları	66
Şekil 4.52. İst.5 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları.....	66
Şekil 4.53. İst.5 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları	67
Şekil 4.54. İst.6 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları.....	67
Şekil 4.55. İst.6 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları	68
Şekil 4.56. Deniz suyunda mikroplastik HCA Analizi	69
Şekil 4.57. Kumda mikroplastik HCA Analizi	70

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Plastik Türleri ve Kullanım Alanları.....	8
Tablo 2.2. Geri dönüşüm sürecinde kullanılan plastik kodları.....	10
Tablo 2.3. Yaygın mikroplastiklerin yoğunlukları	15
Tablo 3.1. İstasyon Bilgileri.....	33
Tablo 3.2. Örneklem noktalarına deniz suyu verileri	33
Tablo 4.1. Mikroplastiklerin Potansiyel Sağlık Etkisi (Toplam örneklem).....	68
Tablo 4.2. Mikroplastiklerin Potansiyel Sağlık Etkileri (Deniz suyu)	68
Tablo 4.3. Mikroplastiklerin Potansiyel Sağlık Etkileri (Kum).....	69

ORDU İLİ SAHİLLERİNDE (TÜRKİYE) MİKROPLASTİK KAREKTERİZASYONU, BOLLUĞU VE DAĞILIMI

ÖZET

Denizlerimizi kirleten en yaygın malzemelerden biri olan plastikler, artık küresel çapta ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Bu plastikler, çevremizde uzun süre kalıcılık gösterir ve giderek mikroplastik adını verdiğimiz çok daha küçük parçacıklara dönüşürler. Bu çalışması kapsamında, Ordu İli sahillerinden, 6 farklı istasyondan alınan kum ve deniz suyu numunelerinde, mikroplastik profili detaylı bir şekilde incelenmiştir. Mikroskopik ve μ -FTIR spektroskopu kullanılarak yapılan analizler sonucunda, kum ve deniz suyu numunelerinde mikroplastiklerin varlığı belirlenmiş ve bunların karakterizasyonu bolluğu ve dağılım özellikleri ortaya konmuştur. Bu çalışmada, sediman örneklerinde $291,11 \text{ öge kg}^{-1}$ ve su örneklerinde $0,263 \text{ öge L}^{-1}$ mikroplastik bulunmuştur. En fazla lif ve film tipi mikroplastik parçalarına rastlanmış olup, bu parçaların genellikle mavi ve saydam renklerde olduğu tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin yaygın olarak $0-50 \mu\text{m}$ boyut aralığında (%50,71) olduğu ve tespit edilen mikroplastiklerin $800 \mu\text{m}$ 'den daha büyük olmadığı gözlemlenmiştir. Gözlemlenen Mikroplastik çeşitlerinden çoğunlukla (%46) Polietilen ve bunu sırayla, Polipropilen (%19), Polisitren (%16), Polivinil Asetat (%15) ve Polirtilen Tereftalat (%4) takip etmiştir.

Sonuç olarak, mikroplastikler insan sağlığına ve çevreye yönelik ciddi tehditler oluşturmakta ve denizlere bırakılan atıkların neden olduğu riskin azaltılması için öncelikle atık üretiminin azaltılması, gerekli önlemlerin alınması, izleme çalışmalarının yapılması ve gerekli giderim yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Mikroplastik, Deniz Suyu, Kum, Potansiyel Ekolojik Risk, Plaj

MICROPLASTIC CHARACTERISATION, ABUNDANCE AND DISTRIBUTION ON THE COAST OF ORDU PROVINCE (TURKEY)

SUMMARY

Plastics, one of the most common materials polluting our seas, are now a serious global problem. These plastics persist in our environment for a long time and gradually turn into much smaller particles that we call microplastics. In this study, the microplastic profile of sand and seawater samples taken from 6 different stations from the coasts of Ordu Province was analysed in detail. As a result of microscopic and μ FTIR spectroscopic analyses, the presence of microplastics in sand and seawater samples was determined and their characterisation, abundance and distribution characteristics were revealed. In this study, 291,11 items kg^{-1} microplastics was found in sediment samples and 0,263 items L^{-1} microplastics in water samples. Fibre and film type microplastic fragments were found the most and it was determined that these fragments were generally blue and transparent in colour. It was observed that microplastics were commonly in the size range of 0-50 μm (50.71%) and the detected microplastics were not larger than 800 μm . Most of the microplastics observed were polyethylene (46%), followed by polypropylene (19%), polystyrene (16%), polyvinyl acetate (15%) and polyethylene terephthalate (4%).

As a result, microplastics pose serious threats to human health and the environment, and in order to reduce the risk caused by wastes released into the seas, it is necessary to reduce waste generation, take necessary measures, carry out monitoring studies and apply the necessary removal methods.

Keywords: Microplastic, Sea Water, Sand, Potential Ecological Risk, Beach

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Kıyı ve deniz alanları, bir bölgede yaşayan insanların sağlıklı bir yaşam sürmesi için hayati öneme sahiptir. Bu bölgeler, ekonomik olarak bölgeye katkı sağlamanın yanı sıra doğal fonksiyonlarıyla da ön plana çıkarlar ve böylece yaşam standartlarını yükseltirler. Aynı zamanda, bu alanlar iklim değişikliklerinin etkilerini hissettiğimiz bölgelerdir ve ekosistemlerin dengeye kavuşması için kritik bir rol oynarlar. Bununla birlikte, kıyı ve deniz alanları, nesli tükenmekte olan türlerin korunması ve rehabilite edilmesi için de son derece önemlidir (Uslu ve Sesli, 2011).

İklim değişikliği, deniz taşımacılığından kaynaklanan kirlilik, kontrolsüz karasal balıkçılık, deniz kazaları, petrol arama çalışmaları, aşırı avlanma ve derin deniz madenciliği gibi insan kaynaklı etkinlikler, deniz ve kıyı bölgelerinde ciddi tahribatlara sebep olmaktadır (Wright ve ark., 2018). Üretim ve tüketimdeki sürekli artış, günümüzdeki en büyük küresel meselelerden biri olan plastik kirliliğinin denizlerdeki ana kaynağıdır (Thompson ve ark., 2009).

Plastikler, karbon, oksijen, hidrojen, silikon ve klorür elementlerinin bileşiminden oluşan uzun zincirli polimerik yapılardır. Günümüzde, plastiklerin hafif, işlenebilir, dayanıklı, esnek, düşük maliyetli, ısı ve elektrik yalıtımı sağlayabilen, korozyona dirençli ve su geçirmez gibi özellikleri sayesinde, geleneksel cam ve metal gibi malzemelerin yerini almıştır. Plastiklerin bu özellikleri, ambalaj endüstrisinden otomotive, su ürünleri yetiştiriciliğinden kişisel bakım ürünlerine kadar geniş bir yelpazede hayatımızın neredeyse tüm alanlarına entegre olmasını sağlamıştır (Ogunola ve ark., 2018).

Yüksek plastik üretimine karşın plastik atıkların yalnızca %14'ü geri dönüştürülmekte, kalanı ya enerji geri kazanımı ile yakılmakta, ya da düzenli depolama ve çöp atma yoluyla çevreye bırakılmaktadır (Liu ve ark., 2023).

Okyanustaki plastiğin çoğu (%80) karasal kaynaklardan gelmektedir. Karasal kaynaklı makro ve mikro plastikler rüzgar veya yüzey akışı yoluyla taşınmaktadır (Jambeck ve ark., 2015). Nehirleri ve kanalları okyanusa giren plastik atıkların ana kaynaklarıdır. Bununla birlikte deniz ve tatlı su ortamları arasında bir geçiş bölgesi görevi gören haliçler de önemli mikroplastik kaynaklarıdır (Pan ve ark., 2019; Rakib ve ark., 2022). Deniz ortamına giren büyük plastik parçaları zamanla fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik etkiler altında bozunarak daha zararlı mikroplastik adı verilen 5mm'den küçük parçalara ayrılır (Plastics Europe 2019; Lestari ve ark., 2020). Bu parçalar akıntı, girdaplar ve rüzgar gibi süreçlerle küresel ölçekte geniş çapta dağılmaktadır (Auta ve ark., 2017). Bu plastikler çok küçük boyutta olmaları, sürekli üretilmeleri, biyolojik olarak parçalanmamaları, çevrede uzun ömürlü olmaları nedeniyle çevrede birikmeleri küresel ölçüde endişe vericidir (Chamas ve ark., 2020). Deniz ekosistemlerinde, polipropilen (PP), polyamid (PA), polistren (PS), polietilen (PE), polivinil klorür (PVC), ve polietilen tereftalat (PET) en yaygın görülen polimer türleridir (Llorca ve ark., 2020).

Mikroplastikler, hacimce geniş yüzey alanına sahiptir. Bu da deniz sularındaki zararlı kirleticileri adsorbe etme kapasitelerini artırır (Rodrigues ve ark., 2019). Polibromlu difenil eterler ve diklorodifeniltrikloroetan (DDT) gibi zararlı bileşiklerin taşıyıcılarıdır (Zhang ve ark., 2022; Wang ve ark., 2020).

Mikroplastikler sudaki organizmaların vücuduna doğrudan alım, avlanma yoluyla veya solunum yoluyla girer (Xu ve ark., 2018; Barboza ve ark., 2018). Organizmalar tarafından alınan mikroplastikler, sindirim sisteminin tıkanmasına neden olabilir ve yumuşak dokularda biyolojik birikim ve bunlardan sızan kimyasallar/katkı maddeleri normal hücresel işleyişi etkileyebilir (Thompson ve ark., 2004; Browne ve ark., 2007).

Biyotransformasyon ve buna bağı biyomagnifikasyonların kopepodlarda, kaetognatlarda, midyelerde, istiridyelerde, yengeçlerde ve balıklarda da yaygınlığı rapor edilmiştir (Browne ve ark., 2007; Watts ve ark., 2014; Leslie ve ark., 2017; Sun ve ark., 2017). Küçük parçacıkların yutulması nedeniyle midye gibi filtre besleyiciler mikroplastiklere ve su kaynaklı kimyasal kirleticilere karşı süzerek beslendikleri için özellikle hassastır (Avio ve ark., 2015).

Deniz ortamlarında, mikroplastikler yüzlerce yıl varlığını sürdürebilir bu nedenle zararlı birçok mikroorganizmanın kolonizasyonu için uygun bir habitat oluştururlar (Curren ve ark., 2019). İnsanlar balık ve kabuklu deniz ürünleri, deniz yumuşakçaları, istiridye, karides, midye vb. deniz ürünlerini tüketimi ile deniz suyundaki yüksek mikroplastik tüketiciye aktarılabilmektedir (Severini ve ark., 2019; Li ve ark., 2020). Üstelik plastikler dioksinler ve bisfenol A gibi ölümcül organik kirleticileri saldıkları bilinmektedir (Rajmohan ve ark., 2019; Kataria ve ark., 2022).

Dünya çapında göllerde, nehirlerde, haliçlerde, okyanuslarda ve plajlarda mikroplastiklerin bolluğu, yüksek nüfuslu bölgelerde veya yoğun antropojenik faaliyetlerin olduğu bölgelerde belgelenmiştir (He ve ark., 2020). 24 ülkede 198 türden, balıkların %60'ına kadarı mikroplastik yutmuştur ve insanların da yılda toplam 55.000 mikroplastik yutabileceği ortaya konulmuştur (Danopoulos ve ark., 2020).

Son zamanlarda elde edilen zengin bilgilere rağmen, özellikle ekotoksikoloji çalışmaları, akıbet, yaygınlık ve mikroplastik kirliliği tehdidiyle başa çıkmak için birçok çalışma yapılsa da hala büyük bir boşluk bulunmaktadır.

Bu çalışma, Ordu ili sınırları içerisinde bulunan belirlenmiş plajlarda mikroplastik kirliliğinin araştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ordu ili sahillerinde altı istasyondan tek seferlik alınan numunelerin (kum ve deniz suyu numuneleri) içerisindeki mikroplastik oranı belirlenmiş, mikroplastikler boyut, renk ve tip olarak karakterize edilmiş ve hangi yapıda oldukları analiz edilerek ekolojik olarak yaratacağı risk ortaya konulmuştur.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Plastikler

"Plastik" kelimesi, kökenini Yunanca "plastikos" ve "plastos" kelimelerinden alır; bu terimler, "biçimlendirilebilir" ve "kalıplanabilir" anlamlarına gelir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Plastiklerin üretimi, petrokimya endüstrisinde petrol ve doğal gazdan elde edilen ürünlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. 1922'de Herman Staudinger, plastiklerin çok sayıda küçük molekülün bir araya gelerek büyük moleküller veya polimerler oluşturduğunu keşfetti. Plastiklerin tamamı, polimerizasyon süreciyle üretilir. Polimerler, çok sayıda makromolekülün kimyasal bağlarla bir araya gelerek düzenli bir yapı oluşturduğu yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir. "Poli" kelimesi Latince'de "çok" anlamına gelirken, "mer" kelimesi ise birimleri ifade eder. Dolayısıyla, polimerler bu birimlerin tekrarıyla meydana geldiği için bu ismi almışlardır (Savaşçı ve ark., 2002).

Pratikte tüm plastikler, temel olarak doğal gaz, petrol ve kömür kaynaklı hammaddelerden üretilirler. Plastik üretim süreci, bu hammaddelerin öncelikle monomerlere dönüştürülmesiyle başlar. Bu monomerler arasında etilen, propilen, benzen, paraksilen, toluen ve diğerleri bulunur. Ardından, ısı, basınç ve kimyasal reaksiyonların etkisiyle plastik üretim sürecinin ikinci aşaması olan polimerizasyon başlar. Etilen, polietilene; propilen, polipropilene; stiren ise polistirene dönüştürülerek plastik üretim süreci devam eder. Polimerizasyon işlemi belirli aşamalarda durdurularak özellikleri belirli resinler elde edilir. Örneğin, polietilenin dansitesi yüksek dansiteli polietilen (HDPE) veya düşük dansiteli polietilen (LDPE) olacak şekilde ayarlanabilir. HDPE, taşıma kapları gibi uygulamalarda kullanılırken; LDPE, film üretiminde tercih edilir. Polimerizasyon ürünleri, doğrudan kullanılabilecekleri gibi, katkı maddeleriyle zenginleştirilerek esneklik, ısıya

dayanıklılık, UV dayanıklılığı gibi özellikler kazandırılarak çeşitli amaçlar için kullanılabilir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Ticari olarak üretilen ilk plastikler, yarı sentetik kökenlidir. Bu plastikler, insan sindirim sistemi tarafından parçalanamayan bir karbonhidrat olan ve pamuk atıklarından elde edilen sellülozdan türetilmiştir. Leo Baekeland, 1909'da fenol ve formaldehit kullanarak ilk sentetik plastik olan bakeliti üretmiştir. Bundan önce, birçok plastik denemesi yapılmış olsa da, bunlar genellikle küçük ölçeklerde başarılı olmuş ancak endüstriyel olarak uygulanabilirliğe ulaşamamıştır. Polistiren (PS) ve polivinil klorür (PVC) gibi ilk polimerlerin ticari üretimi 1930'larda başlamıştır. Ancak plastiklerin endüstriyel üretimi, ancak 1950'lerde yaygınlaşmıştır (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Gelişen bilim ve teknoloji beraberinde malzeme çeşitliliklerini, üretim ve tüketimlerini arttırmıştır. Metal, ahşap ve seramik gibi daha eski malzemelerin yanı sıra, plastiklerin adı ancak 20. yüzyılda yaygın olarak duyulmaya başlamıştır. Ancak, plastikler çağımıza kadar hızla gelişerek diğer malzemelerden üstün özellikler kazanmıştır. Ayrıca, plastikler, endüstri, elektronik ve iletişim gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılan bir malzeme türü haline gelmiştir (Yaşar, 2001).

2.1.1. Plastiklerin Genel Özellikleri

- a. Plastikler, genellikle 0,8 ile 2,2 g/cm³ arasında değişen dansite değerlerine sahiptirler. Bu malzemeler, hafif olmalarının yanı sıra yüksek mukavemet özelliklerine sahiptirler. Cam elyafı ve karbon elyafı gibi katkı malzemeleri eklenerek, metal malzemelerden bile daha yüksek mekanik mukavemete ulaşabilirler.
- b. Kolay şekillendirilebilir ve işlenebilir, renklendirilebilirler.
- c. Plastikler, genellikle yalıtkan özellik gösterirler. Ancak, karbon siyahı gibi katkı malzemeleri eklenerek, plastiklerin elektriksel iletkenlik yeteneği sağlanabilir.
- d. Plastikler, güçlü bir korozyon direncine sahiptirler.

- e. Plastiklere, saydamlık özelliği kazandırılarak, gözlük camı, kompakt disk, optik disk gibi ürünlerin üretimine uygun hale getirilebilir. Bu saydam plastik malzemeler, camdan daha hafif ve daha kolay şekillendirilebilirler. Ek olarak, cam malzemelerle karşılaştırıldığında, daha gelişmiş optik ve mekanik özelliklere sahiptirler.
- f. Plastikler, geri dönüşüme uygun malzeme özelliği taşırlar (Akyüz, 1999).
- g. Lipofiliktir,
- h. Toksik maddeleri üzerinde adsorplayarak taşıyabilirler (Koelmans ve ark., 2016).

2.1.2. Türlerine Göre Plastikler

Plastikler, türlerine bağlı olarak termosetler (ısıl olarak sertleşen) ve termoplastikler (ısıl olarak yumuşayan) olmak üzere iki ana kategoriye ayrılırlar.

2.1.2.1. Termosetler (ısıl sertleşir plastikler)

Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan fakat geçirdikleri kimyasal işlemlerden sonra katı hale dönüşen, ısıtıldığında sertleşen plastiklerdir. Termosetler çapraz bağlı bir yapıya sahiptir. Bu plastikler ısıl işlem uygulandığında tek seferlik istenilen şekil verilebilir. Tekrar ısıtılması halinde ise bozulmaya uğrarlar. Polyesterler, poliüretan, silikonlar ve epoksi reçineler, termoset plastikler arasında sayılabilirler (Yaşar, 2001; Güler ve Çobanoğlu, 1997).

2.1.2.2. Termoplastikler (Isıl yumuşar plastikler);

Termoplastiklerde, makromoleküller arasında kimyasal bağ bulunmaz ve tekrar tekrar işlenebilen, kimyasal çözücülerde çözünebilen plastik türüdür. LDPE, HDPE, polistiren (PS), polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET) ve polivinilklorür (PVC), termoplastik plastiklerin örnekleri arasında yer almaktadır (Yaşar, 2001).

2.1.3. Plastiklerin Kullanım Alanları

Dünyanın ilk sentetik plastiğı olan Bakalit'in üretiminden bu yana (Sardon ve Dove, 2018) plastiklerin kullanım alanları giderek genişlemiştir. Düşük maliyetli oluşları, hafiflik, esneklik, dayanıklılık gibi fiziksel özellikleri; korozyon direnci ve kolay işlenebilirlikleri (Sardon ve Dove, 2018) gibi cazip özellikleri sayesinde günümüzün mükemmel malzemesi olmuştur. Ambalaj, inşaat ve yapı, tekstil, tüketici ve kurumsal ürünler, ulaşım, elektrik ve elektronik, ve endüstriyel makine (Ritchie ve Roser, 2018) endüstrileri başta olmak üzere hemen hemen her alanda tercih edilmektedirler.

Küresel ekonomi açısından kritik öneme sahip dünya petrol tüketiminin %6'sını plastikler oluşturmaktadır (Walker, 2023). Plastik üretimi ayrıca gaz ve kömür gibi yenilenemeyen diğer kaynakları da tüketmektedir (Plan, 2020).

Dünya plastik üretimi 2018 yılında 367 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. COVID-19 salgını nedeniyle, 2019'daki 368 milyon tonluk az bir miktar düşüş yaşansa da; 2050 yılına kadar 500 milyon tonun üzerine çıkacağı öngörülmektedir (Sardon ve Dove, 2018). Ayrıca, COVID-19 salgını döneminde tek kullanımlık plastikler, hijyen ürünlerine yönelik benzeri görülmemiş talep oluşmuş, kişisel koruyucu ekipman olarak; cerrahi ve cerrahi olmayan maskeler, eldivenler, gözlükler, önlükler ve yüz siperleri gibi malzemelerin kullanımlarından dolayı 8 milyon tondan fazla plastik atık ortaya çıkmıştır.

Dünya plastik tüketimleri en çok olduğu on ülke sırayla: Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık, Güney Kore, Almanya, Tayland, Malezya, Arjantin, Rusya, İtalya ve Brezilya'dır. Korelasyon doğrudan bu ülkelerin zenginliği ile ilişkilidir (Law ve ark., 2020).

Artan arz ve talep doğrultusunda Türkiye'de de plastik üretimi her sene giderek artmaktadır. Ülkemizdeki üretimde 2015-2020 yılları arasında yılda ortalama %3,2 artış olduğu gözlemlenmiştir. 2023 yılına bakıldığında Türkiye için toplam plastik

üretimi 10.765 bin tonu bulmuştur (PAGEV, 2023). Plastik Türleri ve Kullanım Alanları Tablo 2.1’de aşağıdaki gibi verilmiştir (Yurtsever, 2015).

Tablo 2.1. Plastik Türleri ve Kullanım Alanları (Yurtsever, 2015)

Plastik Adı	Yaygın Kullanım Alanları
Polyamidler (PA)	Tekstil endüstrileri, diş fırçası kılıfı, misina
Polikarbonat (PC)	Su şişesi, kapaklar, tıbbi aletler, mutfak gereçleri
Polyester (PES)	Tekstil endüstrisi
Polietilen (PE)	Paketleme, mutfak ürünleri, oyuncak, tekstil
Polietilen Tereftalat (PET)	Pet şişe
Polipropilen (PP)	Yiyecek kapları, biberonlar, çocuk bezleri, bahçe mobilyaları vb.
Polistren (PS)	Gıda paketleme, et ve yumurta kutuları, köpüklü izolasyon vb.
Poliüretan (PU)	Sanayi, dolgu ve sızdırmazlık köpükleri
Polivinil klorür (PVC)	Şişe, bardak, suni deri, kredi kartı, spor malzemeleri, borular vb.
Politetrafloroetilen (PTFE)(Teflon)	Mutfak gereçleri
Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE)	Bazı temizlik maddeleri ambalajları, süt şişeleri, borular, yalıtım
Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE)	Su şişesi, gıda ambalajları, ekmek ve market poşetleri

LDPE ve HDPE, poliolefin ailesindeki polietilen çeşitleridir. Birincisi, moleküller arası kuvvetlerini azaltan yüksek oranda dallanmış polimer zincirlerine sahipken, ikincisi bunları artıran düşük oranda dallanmış polimer zincirlerine sahiptir (Berk, 2018). Bu nedenle, LDPE daha yumuşak ve esnektir ve plastik torbalar, plastik gıda ambalajları, yıkama şişeleri, sıkma şişeleri vb. yapımında yaygın olarak kullanılırken, HDPE daha sert ve dayanıklıdır ve esas olarak deterjan şişeleri, süt şişeleri, kovalar, kaydıraklar, çöp kutuları vb. için kullanılır.

Propilen monomerlerinin birleştirilmesiyle üretilen PP, esnekliğini korurken polietilenden daha güçlü bir poliolefindir. Isıya ve elektriğe karşı yüksek direnci ile bilinir (Boudenne ve ark., 2005), bu da onu yüksek sıcaklıkların gerekli olduğu gıda ve laboratuvar aletleri ve elektronik bileşenler için mükemmel bir seçenek haline getirir.

PET, etilen glikol ve tereftalik asit monomerlerinden üretilen kimyasal olarak stabil bir polyesterdir ve genellikle su şişeleri, yemeklik yağ şişeleri ve gazlı meşrubatların ambalajlanmasında kullanılır (Das ve ark., 2021).

PS ise aromatik stiren monomerinin radikal polimerizasyonu ile sentezlenen sert ve katı bir polimerdir ve koruyucu ambalajlarda, köpük gıda kaplarında ve yalıtımda yaygın olarak kullanılmaktadır. PVC, hem sert hem de esnek formlarda olup, birincisi esas olarak borular ve bağlantı parçaları, kasklar, pencere çerçeveleri vb. için kullanılırken, ikincisi tıbbi borular, tel veya kablo yalıtımı, giysi vb. için kullanılır (Berk, 2018).

2.1.4. Plastik Reçine Tanımlama Ve Geri Dönüşüm Kodlama Sistemi

Plastik Endüstrisi Topluluğu (SPI), 1988'de plastik türlerini numaralandırarak bir sistem oluşturmuş ve bunları 1-6 arasında kodlamıştır. Fakat plastik endüstrisinin gelişimiyle birlikte, bu sınıflandırmaya uymayan yeni plastik çeşitleri ortaya çıkmış ve daha sonraları ise SPI, bu kodlamış olduğu altı plastiğin kombinasyon halinde kullanılması veya bunların dışındaki plastikleri 7 numaralı kod “diğer” malzemeler olarak tanımlamıştır (Yurtsever, 2015). Geri dönüşüm sürecinde kullanılan plastik kodları (SPI) Tablo 2.2’de verilmiştir (Yurtsever, 2015).

Günümüzde, dünya çapındaki çoğu geri dönüşüm merkezinde kabul edilen geri dönüştürülebilir plastikler yalnızca geri dönüşüm kodları sırasıyla 1 ve 2 olanlardır ve standart geri dönüşüm kutularına atılabilirler (Jung ve ark., 2023). Geri dönüşüm kodları 2' nin üzerinde olan diğer plastiklerin çoğu, yani LDPE, PP, PS ve PVC işlenmeleri zor veya maliyetli olduğu için çoğunlukla geri dönüştürülmemektedir (Jung ve ark., 2023). Sonuç olarak, bu plastiklerin, özellikle de geri dönüşümü zor olanların yaygın olarak kullanılması, atık depolama alanlarında bozunmanın tamamlanması 500 yıldan fazla sürebilecek çok sayıda plastik atığın birikmesine yol açmakta ve böylece çevredeki muazzam plastik kirliliğine katkıda bulunmaktadır

(Ali ve ark., 2021). Geri dönüşüm kodları ve kimyasal yapılarıyla birlikte piyasada bulunan altı yaygın plastik Şekil 2.1’de verilmiştir (Chang S., 2023).

Tablo 2.2. Geri dönüşüm sürecinde kullanılan plastik kodları (SPI) (Yurtsever, 2015)

Kodu	Kısaltma	Adı	Morfolojisi	Yeniden Kullanım	Geri Dönüştürülebilirlik	Erime Noktası T _m (°C)
	PETE, PET	Polietilen tereftalat	Kristalin Termoplastik	Tek kullanım	Çok iyi	250-260 T _g =800° C
	PE-HD, HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen	Kristalin Termoplastik	Var	Çok iyi	130
	PVC	Polivinil klorür(Vinil klorür CH ₂ = CHCl)	Amorf Termoplastik	Yok	Katkı maddeleri nedeniyle çok az dönüştürülebilir.	T _g =800° C
	LDPE	Düşük yoğunluklu polietilen	Kristalin Termoplastik	Var	Genellikle geri dönüştürülemez.	110
	PP	Polipropilen (Propilen CH ₃ CH=CH ₂)	Kristalin Termoplastik(Yarı saydam, beyaz)	Var	Kolay dönüştürülemez.	160
	PS	Polistiren (Stiren C ₆ H ₅ CH=CH ₂)	Amorf Termoplastik (Renksiz, saydam)	Yok	Dönüştürülebilir. ama ekonomik değildir.	240 T _g =70-1150°C
	Diğer	PolikarbonatAkrilik	Çeşitli	Yok	Karışık plastikleri içerdiğinden kolay dönüştürülemez.	-



Şekil 2.1. Geri dönüşüm kodları ve kimyasal yapılarıyla birlikte piyasada bulunan altı yaygın plastik (Chang S., 2023).

2.1.5. Boyutlarına Göre Plastikler

Boyutlarına bağlı olarak, plastik parçalar genellikle beş farklı sınıfa ayrılır. Bunlar (Yurtsever, 2018);

- Megaplastikler (10 cm den büyük)
- Makroplastikler (2cm -10cm)
- Mezoplastikler (5mm - 2cm)
- Mikroplastikler (1mm -5mm)
- Nanoplastikler (1nm -1mm)' dir.

2.2. Mikroplastikler

Deniz ortamındaki plastik partiküller 1970'lerden beri araştırma konusu olmuş (Carpenter ve Smith, 1972; Colton ve ark., 1974; Morris ve Hamilton, 1974; Wong ve ark., 1974) ve deniz kirliliği alanında önemli bir ilgi alanı haline gelmiştir. Carpenter ve Smith (1972) Kuzeybatı Atlantik Okyanusu'nda ilk reçine parçacıklarının keşfetmişlerdir. Ancak, 2004 yılına kadar "mikroplastikler" terimi için bir tanımlama getirilmemiştir. Thompson ve arkadaşları (2004) ilk olarak deniz ekolojisine yönelik potansiyel tehditleri nedeniyle giderek daha fazla dikkat çeken "mikroskobik plastikler" kavramını benimsemiştir (Barnes ve ark., 2009; Cozar ve ark., 2014) ve parçacık boyutu 5 mm'den küçük olan her plastik parçası mikroplastik olarak tanımlanmıştır (Moore, 2020). Önceki çalışmalar okyanustaki mikroplastiklerin her yerde bulunduğunu ve parçalarının insan gözüyle tespit edilemeyecek küçük olduğunu göstermiş ve okyanustaki bu mikroplastikler PM 2.5 olarak adlandırılmıştır (Rochman ve ark., 2014).

Mikroplastikler için bir çok tanımlama mevcuttur. Toprak, nehirler, göller, okyanuslar, sulak alanlar, yeraltı sistemleri ve atmosfer gibi çeşitli ekosistemlerde yaygın olarak bulunan mikroplastikler, sentetik ve uzun zincirli organik polimerlerin oluşturduğu küçük plastik parçacıklarıdır (Kumar ve ark., 2021). Mikroplastikler, parçacık boyutu 5 mm'den küçük olan bir tür küçük plastik parçacıklar ve liflerdir (Arthur ve ark., 2008a; Law ve ark., 2014). Bu boyuttaki plastik parçacıklar deniz ortamında baskın olduğundan, mikroplastikler için 1 mm'den küçük bir parçacık boyutu daha uygundur (Browne ve ark., 2011; Claessens ve ark., 2011).

2.2.1. Mikroplastik Kaynakları ve Taşınımı

Mikroplastikler, plastiklerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve biyolojik etkiler altında bozunması veya daha küçük parçalara ayrılmasıyla oluşur (Plastics Europe 2019; Lestari ve ark., 2020). Bu plastikler mikroskobik ve yaygın parçacıklar olup, sürekli üretilmeleri, biyolojik olarak parçalanmamaları, kalıcı olmaları ve çevrede uzun ömürlü olmaları nedeniyle çevrede sürekli olarak sayıları artmaktadır (Chamas ve ark., 2020).

Mikroplastikler 1950'lerden bu yana deniz ortamında birikmekte ve başta deniz kıyı sistemleri olmak üzere deniz ortamının önemli bir kirleticisi haline gelmektedir (Rochman ve ark., 2013; Martin ve ark., 2019). Dünya çapında göllerde, nehirlerde, haliçlerde, okyanuslarda ve plajlarda mikroplastiklerin bolluğu, yüksek nüfuslu bölgelerde veya yoğun antropojenik faaliyetlerin olduğu bölgelerde belgelenmiştir (He ve ark., 2020). Hatta bildiğimiz kadarıyla, mikroplastikler kutuplar (Lusher ve ark., 2015), uzak sahiller (Edo ve ark., 2019; Herrera ve ark., 2018) ve hatta okyanusun en derin kısımları (Bergmann ve ark., 2017) dahil olmak üzere deniz ortamının her yerinde bulunabilmektedir.

İlgili istatistiklere göre, küresel okyanuslarda asılı mikroplastikler 93000-236000 t (Law ve ark., 2014) kadardır ve yüksek akışkanlık ve stabiliteye sahiptir. Sonuç olarak, mikroplastikler tüm dünyadaki denizlerde yaygın olarak dağılmaktadır. Ancak araştırmalar, su kütlelerindeki askıda mikroplastiklerin, bir yıl içinde karadan denizlere giren plastik atıkların yalnızca %1-%3'ünü oluşturduğunu göstermektedir (Jambeck ve ark., 2015). Dünya çapında bulunan 269 milyon ton partikülün yaklaşık %92'sinin mikroplastik olduğu tahmin ediliyor. Bu tahmin, mikroplastiklerin çoğunun deniz çökeltilerinde bir yutak olarak bulunduğunu, yüzeydeki mikro plastik miktarının ise daha az olduğunu kanıtladı (Eriksen ve ark., 2014; Auta ve ark., 2017). Bu nedenle, bilim camiası genel olarak mikroplastiklerin çoğunun su kütlelerinde asılı kalmaktan ziyade sedimanlarda yoğunlaştığına inanmaktadır.

Deniz ortamındaki mikroplastikler çeşitli kaynaklara sahiptir. Deşarj araçları açısından, denizlerdeki mikroplastik atıklar doğrudan kaynaklardan (doğrudan denizlere deşarj edilen) ve dolaylı kaynaklardan (dolaylı olarak denizlere giren) kaynaklanmaktadır (Ryan ve ark., 2009). Doğrudan kaynaklar arasında deniz işletmeleri, kıyı turizmi ve deniz taşımacılığı yer almaktadır (Dai ve ark., 2018; Zhou ve ark., 2018; Zhao ve ark., 2014; Song ve ark., 2014). Dolaylı kaynaklar, insan faaliyetlerinden kaynaklanan plastik atıkların nehirler ve hatta atmosfer yoluyla denizlere girmesi, kanalizasyon deşarjı ve atık yakmadır (Li ve ark., 2020; Chen ve ark., 2020).

Ayrıca, deniz ortamında plastik birikimi deniz ortamını çeşitli şekillerde tehlikeye atmaktadır. Mikroplastiklerin deniz organizmaları tarafından yutulması en yaygın etkidir ve bu da besin ağı ile birlikte transferle sonuçlanır (Öztürk ve Altınok, 2020; Setaléa ve ark., 2014). Yoğunluk, mikroplastiklerin nihai akışını etkileyen önemli bir faktördür. Yüksek yoğunluklu mikroplastiklerin deniz dibi sedimanlarında batma olasılığı yüksekken, deniz suyundan daha düşük yoğunluğa sahip mikroplastikler genellikle deniz yüzeyinde yüzer ve suda yavaş yavaş dağılır (Chubarenko ve ark., 2016).

Mikroplastikler şekli, boyutu, kaldırma kuvveti, hafifliği ve rüzgar ve su yoluyla dayanıklılığı nedeniyle çok uzak mesafelere taşınabilmektedir. AAT (atık su arıtma tesisleri) atık sularının mikroplastiklerin su ve toprak ortamlarına doğrudan taşınmasında anahtar bir yol olarak tanımlandığı çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır (Karbalaee ve ark., 2018). AAT'ler tarafından üretilen çamur, AAT'lerden toprak ekosistemine mikroplastik taşınması için başka bir olası yol olabilmektedir (Eriksen ve ark., 2014; Auta ve ark., 2017). Bu işlemler nedeniyle mikroplastikler derin topraklara su ile sızabilir, hatta sonunda yeraltı suyuna bile karışabilir (Rillig ve ark., 2017).

Ayrıca solucanlar, böcekler, nematodlar, bakteriler, mantarlar, algler vb. gibi toprak organizmaları mikroplastiklerin taşınmasını ve kaderini sindirim, redoks ve boşaltım süreci yoluyla etkiler (Wang ve ark., 2020; Guo ve ark., 2020). Bazı araştırmalar mikroplastiklerin toprak organizmalarının sindirim sisteminden (bağırsak) dışkı ve dışkılarına da geçtiğini ve dışkı topraklarında bulunan mikroplastiklerin deniz ekosistemindeki dolaylı bir mikroplastik kaynağı olabileceğini öne sürmektedir (Duis ve Coors, 2016; Cole ve ark., 2014).

Yüzey akışı ve rüzgar akışı, mikroplastik kalıntılarını topraktan tatlı su akıntılarına ve deniz ekosistemlerine taşımaktadır (Cole ve ark., 2011). Farklı morfolojilerdeki mikroplastikler sürekli taşınarak atmosfere salındıktan sonra toprak veya tortulara yerleşerek insanın solunum sistemi için sorun teşkil etmektedir. Kumsallar, sedimentler, yüzey suları gibi alanlarda mikroplastikler sıklıkla görülür. Ayrıca su

altı yaşamını da etkileyebilirler ve deniz akışı ve atmosferik düşüş yoluyla taşınabilirler (Auta ve ark., 2017; Hou ve ark., 2021).

Mikroplastiklerin deniz organizmaları tarafından yutulması en yaygın etkidir ve bu da besin ağı ile birlikte transferle sonuçlanmaktadır (Öztürk ve Altınok, 2020; Setaléa ve ark., 2014). Yoğunluk, mikroplastiklerin nihai akışını etkileyen önemli bir faktördür. Yüksek yoğunluklu mikroplastiklerin deniz dibi sedimanlarında batma olasılığı yüksekken, deniz suyundan daha düşük yoğunluğa sahip mikroplastikler genellikle deniz yüzeyinde yüzer ve suda yavaş yavaş dağılır (Chubarenko ve ark., 2016). Yaygın mikroplastiklerin yoğunlukları Tablo 2.3'te verilmiştir (Mosca Angelucci ve Tomei, 2020).

Tablo 2.3Yaygın mikroplastiklerin yoğunlukları (Mosca Angelucci ve Tomei, 2020)

Tür	Yoğunluk g/cm ³	Kristallik Derecesi	Yüzey alanı (m ² /g)
Polietilen (PE, (C ₂ H ₄) _n)	0,94–0,98 (HDPE) 0,89–0,93 (LDPE)	Yarı Krisal (HDPE > LDPE)	0,027– 6,91
Polipropilen (PP, (C ₃ H ₆) _n)	0,83–1,23	Yarı Kristal ve Amorf	0,0004– 1,56
Polivinil Klorür (PVC, (C ₂ H ₃ Cl) _n)	1,15–1,70	Amorf	0,317– 1,76
Polistiren (PS, (C ₈ H ₈) _n)	1,04–1,50	Kristal ve Amorf	0,0054– 7,91
Polietilen Teraftalat (PET, (C ₁₀ H ₈ O ₄) _n)	0,96–1,50	Yarı Kristal	0,56– 0,77
Polyamid (PA, (C ₆ H ₁₁ NO) _n or (C ₁₂ H ₂₂ N ₂ O ₂) _n)	1,02–1,38	Yarı Kristal	0,0017– 0,156

2.2.2. Oluşum Kaynağına Göre Mikroplastikler

Oluşum kaynağı açısından mikroplastikler genel olarak birincil ve ikincil mikroplastikler olarak ikiye ayrılabilir.

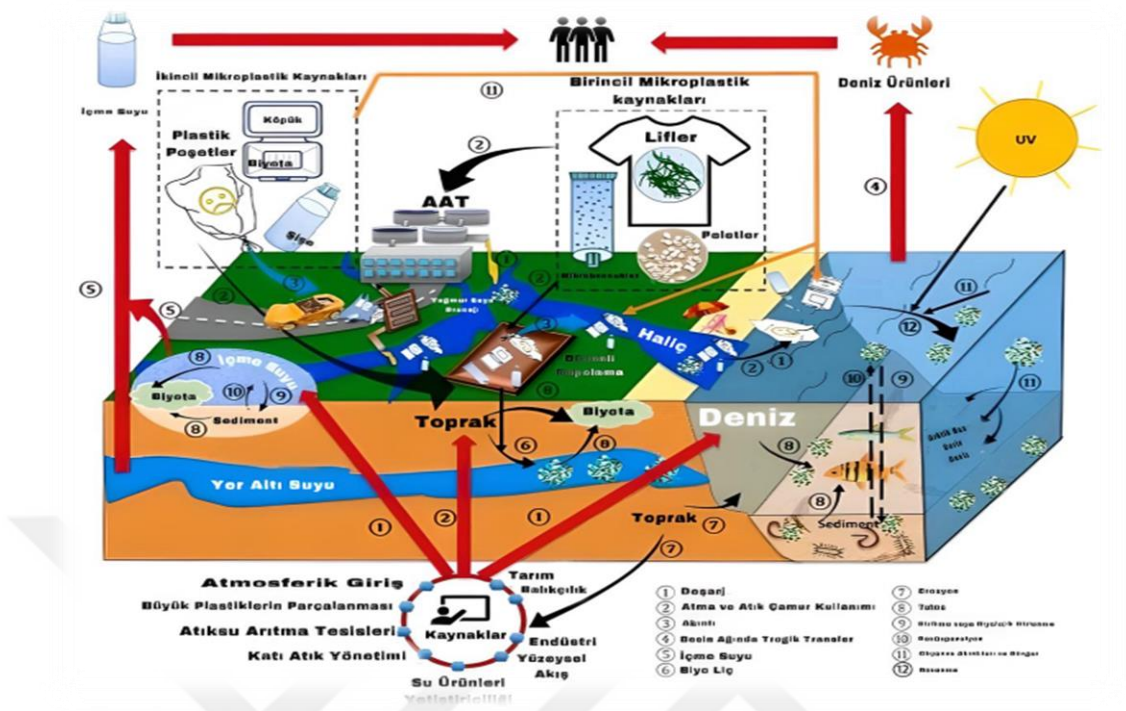
2.2.2.1. Birincil Kaynaklı Mikroplastikler

Birincil mikroplastikler kaynağı temel olarak mikro boyutlu plastiğı doğrudan çevreye salan endüstriyel üretim birimleri ve evsel faaliyetler kaynaklıdır (Auta ve ark., 2017). Kara ve tatlı su sistemlerinde birincil mikroplastikler, endüstriyel faaliyetler, plastik yakma (örneğin termal kesme), lastik aşınması (örneğin arabalar, uçaklar), plastik peletler, ilaçlama, atıksu arıtımı ve kanalizasyon çamuru vb. faaliyetlerin bir sonucu olarak oluşmaktadır (Fendall ve Sewell, 2009; Guo ve ark., 2020). Bununla birlikte, el temizleyicileri, oje, yüz temizleyicileri, duş/banyo jelleri, keseler, tıraş kremleri, bebek ürünleri, saç boyaları, böcek kovucular ve güneş kremi, diş macunu vb. dahil evsel faaliyetlerin sonucunda, çevreye salınmaktadır.

2.2.2.2. İkincil Kaynaklı Mikroplastikler

İkincil mikroplastikler, büyük boyutlu plastik parçalarının güneş ışıını (fotodegradasyon), rüzgar dalgaları (mekanik), su dalgaları (hidroliz), asidik ve/veya alkali koşullar (kimyasal bozunma) ve mikroorganizmaların (biyodegradasyon) etkisiyle parçalanmasıyla oluşur. (Huang ve ark., 2020; Malankowska ve ark., 2021). İklim koşulları (sıcaklık, güneş ışığı, yağış vb.), plastik özellikler (boyut ve yoğunluk) ve kimyasal yapı, UV ışınları gibi çeşitli faktörler plastiklerin bu parçalanma sürecini etkiler. (Andrady, 2011; Wagner ve ark., 2014).

Birincil ve ikincil kaynaklı mikroplastikler(Wu ve ark., 2019) Şekil 2.2’de vermiştir.



Şekil 2.2. Birincil ve ikincil kaynaklı mikroplastikler (Wu ve ark., 2019)

2.2.3. Mikroplastiklerin Sınıflandırılması

2.2.3.1. Renklerine Göre Mikroplastikler

Mikroplastikler yoğunlukla saydam, beyaz, kırmızı, mavi, siyah, yeşil renkler olmak üzere diğer çeşitli renk tonlarında da bulunabilirler. Genellikle beyaz, yarı beyaz veya saydam olan mikroplastikler güneş ışığının etkisiyle veya biyogenik ve antropojenik birikimlerin kirlenme ile zamanla renk değiştirebilirler.

2.2.3.2. Tiplerine Göre Mikroplastikler

Plastikler tiplerine göre; pelet, lif, film, köpük, granül ve köpük olarak sınıflandırılabilir.

2.3. Literatür

Turner ve Holmes (2011), Malta adası sahillerindeki peletlerinin dağılımı, bolluğu ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Pelet şeklinde mikroplastik parçalarını tüm istasyonlarda gözlemlemişlerdir. Peletlerin çoğunu disk şeklinde veya düzleştirilmiş silindir şekillerinde gözlemlemişlerdir. Renklerine göre, beyaz, sarı, kehribar veya kahverengi olarak sınıflandırmışlardır. Kızılötesi spektroskopiyile analiz edilen tüm peletlerin plastik polimerler olduğunu tespit etmişlerdir.

Claessens ve ark. (2011), Belçika'nın farklı lokasyonlarındaki (kıyı limanları, plajlar ve kıyı altı alanlar) sedimentlerde mikroplastiklerin varlığı ve dağılımını araştırmışlardır. Lifler ağırlıklı olmak üzere tüm örneklerde çok sayıda mikroplastik bulmuşlardır. Çalışmalarında tüm şekillerde mikroplastiklere rastlamışlardır. En yüksek konsantrasyon toplam 390 parçacık kg^{-1} kuru sediment gözlemlendiği limanlarda bulunmuş ve limanlarda bulunan mikroplastikler diğer benzer çalışma alanlarında bildirilen maksimum konsantrasyonlardan 15-50 kat daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.

Anthony ve Andrady (2011), Denizdeki mikroplastiklerle ilgili bir çalışma hazırlamışlardır. Çalışmada mikroplastiklerin okyanus ortamında oluşum mekanizmaları ve potansiyel etkileri tartışılmaktadır. Sahillerdeki plastiklerin ayrışarak bozunması, yüzeylerinin kırılma ve mikro çatlamasına yol açarak rüzgar veya dalga etkisiyle suya taşınan mikropartiküllerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak, yüksek seviyelerde POP (kalıcı organik kirletici) ile yüklü mikropartiküllerin deniz biyotası tarafından yutulabileceğini öne sürmüşlerdir.

Dekiff ve ark. (2014), Kuzey Denizi'ndeki Norderney adasının sedimentlerinde mikroplastiklerin mekânsal dağılımını incelemişlerdir. Bunların görünür plastik parçalarını (VPD) (>1 mm) ile korelasyonu da incelenmiştir. Küçük mikropartiküller 36 adet bir kg sediment örneğinden çıkarılmış ve görsel mikroskopik inceleme ve kısmen termal desorpsiyon piroliz gaz kromatografisi/kütle spektrometresi ile analiz

edilmiştir. SPM polipropilen, polietilen, polietilen tereftalat, polivinilklorür, polistiren ve poliamid olarak tanımlanmıştır. Benzofenon, 1,2-benzendikarboksilik asit, dimetil ftalat, dietilheksil ftalat, dibutil ftalat, dietil ftalat, fenol ve 2,4-di-tert-butilfenol plastik katkı maddelerini tespit etmişlerdir. Partiküller oldukça homojen bir şekilde dağılmış ve SPM oluşumu VPD ile korelasyon göstermemiştir.

Zhao ve ark. (2014), Doğu Çin Denizi için askıdaki mikroplastikleri niceliksel ve niteliksel olarak karakterize etmişlerdir. Mikroplastikler bir flotasyon yöntemi ile ekstrakte edilmiş, sayılmış ve stereomikroskop altında şekil ve boyutlarına göre kategorize edilmiştir. Mikroplastikler yoğunlukları deniz örneklerinde sırasıyla $4137,3 \pm 2461,5$ ve $0,167 \pm 0,138 \text{ n/m}^3$ olarak bulunmuştur. Plastik bolluğu haliçte önemli ölçüde değişiklik göstermiştir. Üç deniz örneğinde daha yüksek yoğunlukların görülmesi, nehirlerin deniz ortamındaki önemli mikroplastik kaynakları olduğunu doğrulamıştır. Plastik partiküller ($>5 \text{ mm}$) maksimum $12,46 \text{ mm}$ boyutunda gözlenmiştir, ancak mikroplastikler ($0,5\text{-}5 \text{ mm}$) öge sayısına göre %90'dan fazlasını oluşturmuştur. En sık rastlanan şekiller lifler olup, bunları granüller ve filmler takip etmiştir. Plastik küreler seyrek olarak görülmüştür. Partiküllerin çoğunluğunu saydam ve renkli plastikler oluşturmuştur.

Yu ve ark. (2016), Bohai Denizi'nin plaj kumunda mikroplastik oluşumu ilk kez araştırmıştır. Üç kıyı bölgesinden (yani Bijianshan, Xingcheng ve Dongdaihe) örnekler toplanmış, miktarları belirlenmiş ve mikroplastik analizi için tanımlanmıştır. Yüzey numuneleri (2 cm) derin numunelere (20 cm) kıyasla daha yüksek mikroplastik konsantrasyonları içermiştir. Bulunan sekiz mikroplastik türü arasında PEVA (polietilen vinil asetat), LDPE (hafif yoğunluklu polietilen) ve PS (polistiren) en yüksek bolluk oranına sahip olanlardır. Ayrıca, numunelerdeki plastik olmayan maddeler analiz edilmiş ve sonuçlar, gözlemlenen plastik olmayan maddelerin çoğunluğunun viskoz selüloz lifler olduğunu ortaya koymuştur.

Castillo ve ark. (2016), Katar deniz sularında mikroplastiklerin yaygınlığına dair çalışmalar yapmışlardır. Planktonca zengin deniz suyu örnekleri, Zayıflatılmış Toplam Reflektans-Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektroskopisi kullanılarak analiz

etmişlerdir. Toplamda 30 mikroplastik polimer ortalama $0,71 \text{ partikül m}^{-3}$ ($0-3 \text{ partikül m}^{-3}$ aralığı) konsantrasyonla tanımlanmıştır. Polipropilen, düşük yoğunluklu polietilen, polietilen, polistiren, poliamid, polimetil metakrilat, selofan ve akrilonitril bütadien stiren polimerleri, mikroplastiklerin çoğunluğu ya tanecikli şekilde, $125 \mu\text{m}$ ile $1,82 \text{ mm}$ arasında değişen boyutlarda ya da $150 \mu\text{m}$ ile $15,98 \text{ mm}$ arasında değişen boyutlarda lifler olarak karakterize edilmiştir. Mikroplastikler, petrol platformları ve gemicilik faaliyetleri de dahil olmak üzere yakınlardaki antropojenik faaliyetlerin bulunduğu alanlarda belirgin olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Veerasingam ve ark. (2016) Hindistan'ın Goa kıyısı boyunca altı kumsaldan toplanan mikroplastik örnekleri, sırasıyla Stereoskop mikroskobu ve FTIR-ATR spektroskopisi kullanılarak renk ve polimer türlerine karakterize etmişlerdir. Çalışmalarında en çok beyaz renkli mikroplastiklere rastlamışlardır. Polietilen (PE) ve Polipropilen (PP) tüm plajlarda bulunan baskın polimer türleridir. Mikroplastiklerin özellikleri öncelikle okyanus kaynaklı olabileceklerini ve SW musonu sırasındaki rüzgarlar ve yüzey akıntıları, mikroplastiklerin Goa sahillerine taşınması ve biriktirilmesi için tetikleyici güç olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Gajšt ve ark. (2016), Kuzey Adriyatik'in Slovenya kısmında deniz yüzeyindeki mikroplastikler üzerine birtakım çalışmalar yapmışlardır. 20 aylık bir süre boyunca gerçekleştirilen 17 örneklemede ortalama $406 \times 103 \text{ mikroplastik partikül/ km}^2$ gibi yüksek bir konsantrasyon bulmuşlardır. Partiküllerin %80'inden fazlası polietilen olduğunu tespit etmişlerdir.

Young ve ark. (2016), Kamilo Plajı ve Kahuku Plajı, Hawai'i'den gelen sedimanlardaki mikroplastik ve mezoplastiklerin karakterizasyonunu belirlemek amacıyla birtakım çalışmalar yapmışlardır. Örneklerden toplam 48.988 büyük mikroplastik ve küçük mezoplastik ($0,5-8 \text{ mm}$) parçacık tespit etmişlerdir. Tüm boyutlar için en yaygın mikroplastik rengi beyaz/saydam (%71,8) olmuş, bunu mavi (%8,5), yeşil (%7,5), siyah/gri (%7,3), kırmızı/pembe (%2,6), sarı (%1,2), turuncu (%0,6), kahverengi (%0,3) ve mor (%0,2) izlemiştir. Beyaz ve siyah/gri reçine peletleri, Kahuku Plajı'ndan toplanan partiküllerin %11,3'ünü ve Kamilo Plajı'ndan

toplanan partiküllerin %4,2'sini oluşturmuştur. Raman Spektrometresi analizine kullanılarak mikroplastiklerin çoğunun polietilen ve birkaçının polipropilen olduğunu belirlemişlerdir.

Kowalski ve ark. (2016), Mikroplastiklerin batma oranları ve fiziksel, biyolojik ve kimyasal faktörler tarafından değiştirilmelerinin potansiyel etkilerini araştırmışlardır. Farklı tuzluluk oranlarına sahip akışkanlar kullanılarak çeşitli polimer partikülleri ile batma deneyleri yapılmıştır. Parçacıkların boyutları 0,3 ile 3,6 mm arasında ve batma hızları $6 \text{ ile } 91 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$ arasında olduğunu belirlemişlerdir. Batma davranışı, eskimiş ve kirlenmiş plastik parçacıkları üzerinde daha fazla çalışma yapılmasını gerektiren ayrışma ve biyolojik kirlenme ile önemli ölçüde değişebileceğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, batan kirlenmiş mikroplastiklerin organik karbonu daha derin su derinliklerine aktararak deniz karbon pompası üzerindeki etkisi hakkında varsayımlarda bulunmuşlardır.

Veerasingam ve ark. (2016), Mart 2015 (Chennai seli öncesi) ve Kasım 2015 (Chennai seli sonrası) dönemlerinde Chennai sahili boyunca yüzey sedimanlarında bulunan mikroplastik peletlerin kaynakları, dağılımı, yüzey özellikleri, polimer bileşimi ve yaşları Stereoskopik mikroskop ve FTIR-ATR spektroskopisi kullanılarak karakterize edilmiştir. En yaygın rengin beyaz olduğunu tespit etmişlerdir. Örneklerinde polietilen (PE) ve polipropilen (PP) her iki dönemde de kıyıda bulunan mikroplastiklerde baskın türün polimerler olduğunu belirtmişlerdir. Mikroplastiklerin Kasım 2015'teki bolluğu Mart 2015'te bulunanlardan üç kat daha fazla olduğunu bu da sel sırasında Cooum ve Adyar nehirleri yoluyla karadan büyük miktarda yeni mikroplastik girdisi olduğunu belirlemişlerdir. Kasım ayındaki rüzgarlar ve yüzey akıntıları, mikroplastiklerin denizden sahillere taşınması ve biriktirilmesinde itici güç olmuştur.

Tsang ve ark. (2017), Haziran 2015 ve Mart 2016 tarihleri arasında Hong Kong'daki Deep Bay, Tolo Limanı, Tsing Yi ve Victoria Limanı'nda yüzey suları ve sedimanlarda mevsimsel mikroplastik kirliliği araştırmaları gerçekleştirmişlerdir. Kıyı suları ve sedimanlardaki ortalama mikroplastik konsantrasyonları sırasıyla

başına her 100 m³'te 51 ila 27.909 partikül ve kilogram başına 49 ila 279 partikül arasında değişmiştir. Zayıflatılmış Toplam Reflektans Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi ile polipropilen, düşük yoğunluklu polietilen, yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen ve etilen propilen karışımı ve stiren akrilonitril olarak tanımlanan farklı şekillerdeki mikroplastikler (çoğunlukla parçalar, çizgiler, fiberler ve peletler) gözlemlenmiştir.

Akhbarizadeh ve ark. (2017), İran'ın ana petrol ihracat merkezi olan Khark Adası'nın kıyı sedimanlarında mikroplastiklerin ve toksik elementlerin oluşturduğu potansiyel riski araştırmışlardır. Mikroplastik miktarları (şekil ve renk bakımından) ve ağır metal konsantrasyonu ile endüstriyel faaliyet arasında anlamlı pozitif korelasyon bulunmuştur. Ağır metallerin kaynak tanımlaması hem doğal hem de antropojenik kökenli olduğunu göstermiştir. Sedimanların kalite ve risk değerlendirmesi, bazı istasyonlarda Zn, Mo, Pb, Cu, Cd ve As açısından düşük ila orta düzeyde kirlilik olduğunu ortaya koymuştur. Sedimanlardaki metal fraksiyonlama sonuçları, Cd, Mn, Zn, As ve Pb'nin potansiyel biyoyararlanım nedeniyle ciddi bir ekolojik risk oluşturabileceğini göstermiştir. Mikroplastikler, çoğunlukla parçalar ve lifler, tüm sediman örneklerinde tespit edilmiştir. Mikroplastik miktarları ile kıyı sedimanlarındaki potansiyel toksik element/polisiklik aromatik hidrokarbon konsantrasyonları arasında nispeten anlamlı doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır.

Zhu ve ark. (2018), Kuzey Sarı Deniz' deki yüzey deniz suyu ve sedimanlardaki mikroplastiklerin bolluğu, dağılımı ve özelliklerini araştırmışlardır. Sonuçlar, mikroplastiklerin bolluğunun yüzey deniz suyunda 545 ± 282 madde/ m³ ve sedimanlarda $37,1 \pm 42,7$ madde/kg kuru ağırlık olarak tespit etmişlerdir. Küçük mikroplastikler (<1 mm) toplam mikroplastik sayısının %70'den fazlasını oluşturmuştur. Filmler ve lifler hem yüzey deniz suyunda hem de sedimanlarda mikroplastiklerin baskın olduğu bulunmuştur. Saaydam renkteki mikroplastikler genellikle diğer renklerdeki mikroplastiklerden daha yaygındır. Fourier dönüşümlü kızılötesi mikroskop ile yapılan tanımlamaya göre, polietilen (PE) yüzey deniz

suyundaki mikroplastiklerin baskın bileşimi iken, polipropilen (PP) sedimanlardaki en yaygın polimer türü olduğunu belirlemişlerdir.

Sun ve ark. (2018), İlk kez, Sarı Deniz'de deniz suyundaki ve zooplanktonlardaki mikroplastiklerin özellikleri üzerine kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında deniz suyundaki mikroplastikle için ortalama konsantrasyon $0,13 \pm 0,20$ adet/m³ olup, fragmanlar (%42) baskın olduğunu belirtmişlerdir. Ortalama boyut $3,72 \pm 4,70$ mm'dir ve en sık görülen boyut 1200 µm'dir. Başlıca polimer türleri polipropilen ve polietilendir ve toplamda %88,13'ünü oluşturmaktadır. Mikroplastiklerin deniz suyundaki dağılımı düzensizdir ve kıyı şehirlerine yakın yerlerde yüksek mikroplastik konsantrasyonları görülmektedir. Toplam 11 zooplankton grubundaki ortalama mikroplastik konsantrasyonu $12,24 \pm 25,70$ adet/m³'tür. Ortalama boyut $154,62 \pm 152,90$ µm'dir ve %90' ı <500 µm'dir. Lif, zooplanktonda bulunan mikroplastiklerin çoğunluğunu (%46) oluşturmuştur. Siphonophorea, Copepoda, Euphausiacea ve Amphipoda sırasıyla 3,57, 2,44, 1,41 ve 1.36 adet/m³ ile diğer gruplara kıyasla ana depolardır. Zooplanktonda mikroplastiklerin yüksek konsantrasyon alanı Yangtze Halici'nin bitişik sularının yakınında ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar, zooplanktonun kıyı sularında mikroplastikler için bir depo görevi gördüğünü ortaya koymuşlardır.

Jiang ve ark. (2020), Ocak, Nisan ve Ağustos 2018'de Güney Sarı Deniz'in 16 farklı istasyonundan toplanan 100 L yüzey deniz suyu örneği, mikroplastiklerin uzamsal-zamansal dağılımı ile çevresel değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırmak için analiz edilmiştir. Sonuçlar, ocak ayındaki mikroplastik bolluğunun ($6,5 \pm 2,1$ öge/L) nisan ($4,9 \pm 2,1$ öge/L) ve ağustos ($4,5 \pm 1,8$ öge/L) aylarına göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Genel olarak, toplam mikroplastiklerin %78'i <500 µm, ~%90'ı lif, %73,2-81,7' si saydam ve en bol bulunan iki polimer türü polietilen ve polipropilen olduğunu tespit etmişlerdir. Mikroplastik özelliklerinin (renk, boyut ve şekil) ve bileşiminin en yüksek değişkenliği, mikroplastik kirliliğinin karasal kaynaklarının belirgin özelliklerini gösteren ağustos ayında gözlemlenmiştir. Temel bileşenler analizi mikroplastiklerin mekansal-zamansal dağılımını ayırt etmiş ve ocak ayındaki mikroplastikler ile diğer iki aydaki mikroplastikler arasında Sarı Deniz Sıcak

Akıntısı ve/veya kış musonuna bağı olabilecek plastik boyutlarında önemli farklılıklar bulunmuştur. Ayrıca, mikroplastiklerin bolluğu, özellikle de küçük boyutlu mikroplastikler ($<500 \mu\text{m}$), deniz suyu tuzluluğu ile pozitif korelasyon göstermiştir. Bu sonuçlar, Güney Sarı Deniz'in yüzey sularındaki mikroplastik kirliliğinin, karasal kaynaklar ve deniz hidrolojik dinamiklerindeki farklılıklar nedeniyle mevsimlere göre değiştiğini göstermiştir.

Anu Pavithran (2021), Hindistan'ın güneybatı kıyısında yer alan Kerala'nın kuzey kıyısındaki seçilmiş bölgelerdeki mikroplastikleri kategorize etmek ve ölçmek amacıyla birtakım çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmada yüzey deniz suyundan alınan örneklerde, koyu renkli liflerin ($< 2 \text{ mm}$ boyutunda) baskın olduğu ve bunların $0,80-6,99 \text{ adet/m}^3$ aralığında olduğu gözlemiştir. Ayrıca bunlarda da polipropilen türünün baskın olduğunu tespit etmişlerdir.

Dutta ve ark. (2022), Mumbai, Hindistan sahillerinde mikroplastiklerin bolluğu, morfolojisi ve uzamsal-zamansal değişimi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Mikroplastikleri tüm sediman ve deniz suyu örneklerinde gözlemiştir. Sediman ve deniz suyundaki ortalama mikroplastik bolluğu her üç plajı karşılaştıran sedimanlardaki ortalama mikroplastik bolluğu $50-530 \text{ partikül kg}^{-1}$ arasında değişen $204 \pm 110 \text{ partikül kg}^{-1}$ bulmuşlardır. Çalışmada, $0,45 \mu\text{m}$ ila 5 mm boyut aralığındaki mikroplastik partikülleri analiz edilmiştir. Boyutları $500 \mu\text{m}$ 'den küçük olan mikroplastikler, Mumbai sahillerinden alınan sediment ve yüzey deniz suyu örneklerindeki plastik partiküllerin sayıca yaklaşık %70'ini oluşturmuştur. Lifler genel olarak daha uzun bir boyuta sahip ve boyutları çoğunlukla $1000-2500 \mu\text{m}$ aralığında yer aldıklarını belirtmişlerdir. Tayland Körfezi'nden (Wang vd., 2020), Bohai Denizi'ne bitişik kıyı topraklarından ve Çin'in Sarı Denizi'nden (Zhou vd., 2018) yüzey sedimanları gibi birçok deniz çalışması küçük boyutlu partiküllerin ($500-1000 \mu\text{m}$) baskın olduğunu bildirmiştir.

Panida Prarat ve Parnuch Hongsawat (2022), Tayland'ın Rayong eyaleti kıyısındaki yüzey deniz suyu ve plaj kumundaki mikroplastik kirliliği çalışmaları yapmışlardır. Fragmanlar (%50) ve lifler (%41) sahil kumundaki en baskın bileşen olduğunu

ortaya koymuşlardır. Çalışmada mikroplastiklerin çeşitli renklerde dağıldığını tespit etmişlerdir.

Abelouah ve ark. (2022), Fas'ın Orta Atlantik Okyanusunda mikroplastik kirliliği üzerine çalışmalar yapmışlardır. 25 bölgeden alınan numunelerde mikroplastikler analiz edilmiştir. Lifler, parçalar, fragmanlar, filmler ve köpük dahil olmak üzere çeşitli mikroplastiklerin şekilleri tespit edilmiştir. Genel olarak, lifler tespit edilen tüm mikroplastiklerin %53'ünü oluşturmuştur. Diğer şekiller ve bunları fragmanlar (%23), peletler (%10), filmler ve köpükler (%7) takip etmiştir. Çalışmalarında plastiklerin büyük çoğunluğunu oluşturan liflerin ağırlıklı olarak PET'ten oluştuğunu tespit etmişler ve kaynak olarak bölgeye yakın AAT'ler, çamaşır yıkama, atmosferik kaynak ve balıkçılık faaliyetleri olabileceği sonucunu bildirmişlerdir. Çalışmada, 2 mm'den küçük parçacıkların, numune alınan tüm bölgelerde toplanan tüm mikroplastiklerin >%71'ini oluşturduğunu göstermiş ve bunların %42'si 0,5 ila 1 mm, %32'si 1 ila 2 mm arasında ve %4'ü 0,5 mm'den küçük olduğunu tespit etmişlerdir.

Gao ve ark. (2022), Çin'in Hainan Adası kıyı sularında mikroplastiklerin varlığı, mekansal dağılımı üzerine çalışmalar yapmışlar. Örnekler 15 Temmuz ile 25 Temmuz 2020 tarihleri arasındaki güneşli günlerde toplanmıştır. Hainan Adası'nın kıyı bölgelerinde 27 deniz suyu ve 25 sediman toplama bölgeleri seçilmiş, yüzey deniz suyundaki mikroplastikler ağırlıklı olarak PET (%32,1) olup bunu selüloz (%19,9) ve diğerleri tespit edilmiştir. Hem sediman hem de deniz suyunda büyük oranda selüloz bulmuşlardır. Sediment ve deniz suyunda siyah, beyaz, kırmızı, sarı, mavi ve yeşil renkte mikroplastiklere rastlamışlardır.

Buckingham ve ark. (2022), Güney Gürcistan'ın deniz kıyısına yakın sularında mikroplastik varlığını araştırmışlardır. Deniz suyunda gri renkte liflerin baskın plastik türü olduğunu tespit etmişlerdir.

Terzi ve ark. (2022), Güney Karadeniz sahil kumu ve deniz yüzey suyunda mikroplastik kirliliği ve özellikleri mekansal olarak değişimi üzerine birtakım çalışmalar yapmışlardır. Toplanan polimerler FTIR kullanılarak doğrulanmıştır.

Sediment numunelerinde %40,53 stiren akrilonitril kopolimeri (SAC) olarak belirlenmiş, bunu %38,75 polietilen tereftalat (PET), %6,91 polietilen (PE) ve izlemiştir. Deniz suyundan toplanan mikroplastiklerde PET (%57,26) hakimken, bunu PE (%13,52) ve PP (%11,24) takip etmiştir. Mikroplastiklerin yarısından fazlasının lif şeklinde (%55,27) olduğunu belirtmişler; diğer yandan, çok az sayıda (%0,2) pelet gözlemlemişlerdir. Mikroplastiklerin boyutlarının 2.5 mm'den küçük olduğunu belirtmişlerdir.

Lin ve ark. (2022), Hainan, Çin'deki tropikal su ürünleri yetiştiriciliği kaynaklı mikroplastiklerin, yüzey deniz suyu ve biotalardaki varlığını araştırmak üzere çalışmalar yapmışlardır. Mikroplastikleri tüm yüzey deniz suyu örneklerinde ve biyolojik örneklerin bir kısmında gözlemlemişlerdir. Sonuçlar köpük, beyaz parçacıklar, küçük maddeler ve polistirenin (PS) XC körfezi ve GM körfezinde baskın mikroplastikler olduğunu göstermiştir. Balıkçılık, su ürünleri yetiştiriciliği, kötü plaj yönetimi ve koylar boyunca yerel topluluklar tarafından üretilen kentsel katı atıklar mikroplastiklerin birikmesine yol açabileceğini ortaya koymuşlardır. Biyotadaki mikroplastik kirliliği ile yüzey deniz suyundaki kirlilik arasında çarpıcı bir korelasyon olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır.

Şener ve Yabanlı (2023), Güney Ege Denizi (Türkiye) boyunca uzanan rekreasyonel plajlarda makro ve mikroplastik bolluğu üzerine sekiz plajda bir dizi çalışmalar yapmışlardır. Sekiz plajda belirlenen makro ve mikroplastik miktarları ve iki sezonda plajlardaki miktarlar arasındaki karşılaştırılmış, tüm plajlarda yaz sezonu için toplam 29,07 makroplastikler ($3,79 \pm 5,30$ partikül kg^{-1} kuru ağırlık) ve kış sezonu için 28,67 ($3,74 \pm 7,45$ partikül kg^{-1} kuru ağırlık) tespit edilerek yaz ve kış mevsimleri arasında makroplastik miktarları açısından istatistiksel bir fark bulamamışlardır. ($P = 0.960$) Yaz ve kış mevsimlerinde tespit edilen tüm mikroplastiklerin %61,07'si lif olup bunu sırasıyla fragman (%32,12), köpük (%2,49), film (%2,38) ve pelet (%1,94) takip etmiştir. Renk açısından mavi renkli mikroplastikler %54,39'luk bir oranla baskın olurken, bunu sırasıyla beyaz (%22,08), kırmızı (%11,17), yeşil (%4,96), sarı (%4,43) ve diğer (%2,96) renk grupları takip etmiştir. İstasyondan bağımsız olarak, yaz mevsiminde tespit edilen tüm mikroplastiklerin %63,62'si, kış mevsiminde ise

%56,73'ü 1 mm - 5 mm boyut aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. Renk ve şekilleri seçilmiş ve polimer yapıları ATR-FTIR ile analiz edilmiştir. Düşük Yoğunluklu Polietilen (LDPE) her iki mevsimde de yoğun baskın olduğu tespit edilmiş (yaz için %66 ve kış için %50), LDPE'yi yaz sezonu için sırasıyla Attik Polipropilen (aPP) (%14), Polietilen (PE) (%6), Polipropilen (PP) (%4), Attik Polistiren (aPS) (%4), Polivinil Klorür (PVC) (%2), Polyester (PES) (%2) ve Polietilen Vinil Asetat (PEVA) (%2) takip ettiğini belirtmişlerdir. Kış sezonu için LDPE'yi sırasıyla aPP (%26), aPS (%6), Etilen propilen dien monomer (EPDM) (%6), PE (%4), PA (%4), PP (%2) ve aPS (%2) takip etmiştir.

Ikenoue ve ark. (2023), Chukchi Denizi, Batı Arktik Okyanusu'nda yüzey mikroplastik konsantrasyonlarının ve su kolonu mikroplastik envanterlerinin yatay dağılımı çalışmaları yapmışlardır. Örneklerinde toplam 43 mikro ve mezoplastik partikül (39 mikroplastik partikül, 4 mezoplastik partikül) tespit etmişlerdir. Mikro ve mezoplastikleri üç tip sınıfa ayırmışlardır: fragman, pelet ve lif. En yaygın olarak fragmanlara (%74,4) rastlamışlardır, bunu pelet (%14) ve lif (%11,6) takip etmiştir. Tüm mikro ve mezoplastik partiküller arasında 9 farklı polimer türü gözlemişlerdir. 1.0-2.0 mm boyut aralığındaki partiküller en sık gözlenen ve toplamın %37.2'sini oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Sönmez ve ark. (2023), Marmara Denizi Kıyılarında atıksu arıtma tesislerinin yüzey deniz suyundaki mikroplastik kirliliğine etkisi ve ekolojik risk değerlendirmesi çalışmaları yapmışlardır. Çalışmalarında mikroplastikleri tüm aylarda yaygın olarak tespit etmişlerdir. Örnekleme sahalarındaki en yaygın partikülün lif (%64,07) ve bunu sırayla parçalar ve filmler takip ettiğini belirtmişlerdir. Saydam renk %9,09-44,97'lik oranla en baskın mikroplastik rengi olurken, bunu mavi (%31,97) ve siyah (%27,78) takip etmiştir. Mikroplastik bolluğunun küçük bir kısmı, sırasıyla ortalama %6,23 ve %1,64 oranlarıyla kırmızı ve yeşil olarak bulmuşlardır. Rastgele seçilen partiküller kalite özellikleri açısından analiz etmişlerdir. EVA dahil olmak üzere toplam 9 farklı polimer türü (%22,2), LDPE (%5,6), HDPE (%11,1), PE (%11,1), PET (%11,1), PA (%11,1), PMMA (%5,6), PU (%5,6) ve kitosan (CS, %16,6), tüm örneklerde tespit etmişlerdir.

Liu B. ve ark. (2023), Güney Çin Denizi ve atmosferde mikroplastik varlığına dair bir dizi çalışmaları yapmışlardır. Tüm istasyonlarda ortalama 103.4 ± 98.3 adet/m³ mikroplastik tespit etmişlerdir. Çalışmalarında FTIR spektroskopisi kullanılarak evsel ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklandığı düşünülen ve en yaygınları PET, PS, PE, PPPE, PMMA, PEG olmak üzere yirmiden fazla mikroplastik türü gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında en yaygın liflerle karşılaşmışlar ve bunu granül, film ve fragmanlar takip etmiştir. Ayrıca çalışmalarında mikroplastiklerinsaydam, mavi ve yeşil renklerde baskın olduğunu gözlemlemişlerdir. Mikroplastiklerin %47,7' u 100–500 100–500 µm boyut aralığında olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca 30 µm boyutundan küçük mikroplastiklere rastlamamışlardır. Mikroplastikleri 12 atmosferik numunenin tamamında gözlemlemişlerdir. Atmosferik mikroplastikler bollukları 1,55 adet/100 m³ ile 14,6 adet/100 m³ arasında değişmektedir. Atmosferden alınan örneklerde giysi kaynaklı olduğu düşünülen %90'lık büyük kısmını oluşturan lifler başta olmak üzere, granül ve filmler tespit etmişler, atmosferik kaynaklı mikroplastiklerde baskın renk olarak saydam ve siyah renkler gözlemlemişlerdir.

Gedik ve ark. (2022) Kuzeydoğu Akdeniz kıyı şeridi boyunca yüzey suyu ve sedimanlarda mikroplastik çalışmaları yapmışlardır. Kuzeydoğu Akdeniz kıyıları boyunca farklı istasyonlardan toplamda sediment ve deniz suyu numunesi almışlardır. farklı istasyondan toplanan sediman ve deniz suyu örnekleri NR boyama yöntemiyle incelemişler, tespit ettikleri bu partiküllerden toplam 200 tanesi şekil bolluğuna göre alınmış ve ATR-FTIR ile doğrulanmıştır. Polimer türleri ATR-FTIR ile tespit edilmiş ve 4 farklı polimer türü (polietilen tereftalat, PET; polipropilen, PP; polietilen, PE; Akrilik, AC) gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında polietilen türünün baskın olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yoğunlukla fragmanlara rastlamışlardır, Tespit edilen mikroplastiklerin 1500 µm altında olduklarını belirtmişlerdir.

Yang ve ark. (2023), Farklı su örneklerinde (deniz suyu, tatlı su ve atık su) mikroplastikler üzerine membran arıtma süreçlerinin giderim verimliliği araştırılmıştır. Çalışmada üç tür su analiz edilmiştir: okyanusa deşarj edilmeden önce

kabuklu deniz hayvanı çiftliklerinden gelen deniz suyunu arıtmak amacıyla bir SWTP' den alınan numuneler, dört farklı WWTP sahasından alınan numuneler ve üç içme suyu arıtma tesisinden (DWTP) alınan numuneler. Çalışmada UF membranının laboratuvar ölçeğinde PE mikroplastiklerin tutulması üzerindeki araştırılmıştır. Tanımlamalara göre PE, $0.1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ PE sentetik süspansiyonlarındaki ana mikroplastik türüdür, UF beslemesinin az miktarda PP, PS ve PET ile birlikte en fazla PE (>%90) içerdiği $\mu\text{-FTIR}$ ile doğrulanmıştır. Buna ek olarak, UF süzütüsünde birkaç PP ve PS partikülü (toplamda $<5\text{ mikroplastik}\cdot\text{L}^{-1}$) de gözlemlenmiştir. Mikroplastiklerin yüzey alanında tutulma oranı %98'in üzerine ulaşmıştır. Sonuç olarak, laboratuvar ölçekli çalışma UF membranının mikroplastikleri giriş suyundan etkili bir şekilde tutabildiğini ve PE mikroplastiklerin boyut dağılımını daha küçük aralıklarda kontrol edebildiğini doğrulamıştır.

Zhang ve ark. (2023), mikroplastiklerin mevsimsel dağılımına yönelik bir takım çalışmalar yapmışlardır. Sarı Deniz'in yüzey deniz suyundaki mikroplastiklerin temel verilerini ve mevsimsel değişimlerini anlamak için 2017-2018 yılları arasında dört mevsim boyunca bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Mikroplastikler $330\text{ }\mu\text{m}$ 'lik bir manta ağı kullanılarak toplanmış ve mikroplastiklerin bolluğunun $0,63\pm 0,57\text{ partikül}/\text{m}^3$ olduğu tespit etmişlerdir. Tüm istasyonlarda köpük, lif ve fragmanlar baskın şekiller olup, sırayla %32, %19 ve %19'unu oluşturmuştur. Baskın görülen polietilen türleri polipropilen, polietilen ve polietilen tereftalattı ve sırasıyla parçacıkların %38, %22, %22'sini oluşturmuştur.

Ge ve ark. (2024), Doğu Çin Denizi'nin bentik tabakasındaki mikroplastik dağılımı ve etkileşimlerinin ortaya çıkarılmasına yönelik çalışmalar yapmışlardır. Yangtze Doğu Çin denizinden 24 istasyon belirleyip yüzey suyu, dip suyu ve yüzey sediment numuneleri almışlardır. Analiz sonuçlarına göre her iki bölge de de baskın mikroplastik boyutu $500\text{-}5000\text{ }\mu\text{m}$, lifler en baskın mikroplastik türü ve en yaygın renk mavi olduğunu tespit etmişlerdir. Yaygın polimer türleri sırayla, PES, rayon, PE, PP, PET, Akrilik, PS' dir. Mikroplastiklerin mekansal olarak yeniden dağılımı noktasal kaynak deşarjlarından, biyolojik faaliyetlerden ve mikroplastiklerin dikey/yatay taşınımından etkilendiğini ortaya koymuşlardır. Mikroplastikler

çoğunlukla tuzlu su tatlı su arayüzünde gözlemişlerdir ve kıyıdan uzaklaştıkça mikroplastik bolluğunun azaldığını belirtmişlerdir. Sediman için, mikroplastik bolluğu kıyı bölgelerinde ve kıyıdan uzak bölgelere göre nispeten daha yüksek çıkmıştır. Mikroplastikler kıyı bölgesinin dip suyunda da tespit etmişlerdir, ancak kıyıya yakın bölgelerden uzak bölgelere doğru belirgin bir eğilim görmemişlerdir.

Amenabar, (2024) Bir kıyı akıntı bölgesinde mikroplastiklerin mekânsal dağılımı incelenmiştir. Çalışmalarını Valparaiso'dan Arica'ya kadar kuzey orta Şili kıyı sularında gerçekleştirmişlerdir. Mikroplastikler, ortalama 119.673 ± 293.712 adet km^{-2} bollukla belirlenen 57 istasyonun tamamında bulunmuştur. Çalışmalarında mikroplastikleri çeşitli renklerde görmüşlerdir. Örneklerde baskın olarak fragman şeklinde mikroplastikler tespit etmişlerdir. Mikroplastiklerin çoğu en büyük üç boyut sınıfında (1.00 - >4.75 mm) yoğunlaşmış, toplam sayımın %81.7'sini ve toplam ağırlığın %98.8'ini oluşturmuştur. Çalışma alanı boyunca kentsel alanlara yakın yerlerde yüksek miktarda mikroplastik bulunmuştur. Uygulanan her iki model için de "kaynağa olan mesafenin" mikroplastik bolluğu üzerinde negatif ve anlamlı bir etkisi olmuş, "kaynağa olan mesafe" arttıkça mikroplastik bolluğu monoton bir şekilde azalmıştır ve "kaynak türünün" (yani liman, atık su çıkışı ve nehir ağzı) veya "kaynağın doğrultusu"nun (Kuzey, Güney) anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Kuzey-orta Şili kıyısındaki büyük kentsel alanlarla ilişkili olan kara kökenli kaynaklara daha kısa mesafelerde önemli ölçüde daha yüksek mikroplastik bolluğu bulmuşlardır.

Ghanadi, M. ve ark. (2024), Auckland kentinin kıyı bölgelerinden sediment ve deniz suyu örnekleri toplanarak polimer türleri, boyut dağılımlarını LDIR görüntüleme tekniğiyle incelenmiştir. Sonuç olarak Auckland kıyı ortamında mikroplastiklerin yaygın olarak bulunduğunu ve polietilen tereftalatın (PET) en sık tespit edilen plastik polimer olduğunu göstermiştir. Mikroplastik kirlilik seviyeleri kıyı suyunda litre başına 13 ila 83 partikül ve plaj sedimentlerinde 1200 ila 3400 partikül/kg kum arasında değişmektedir. Yağmur suyu drenajlarının yakınındaki sedimentlerinde toplam 18 partikül/kg mikroplastik tespit etmişlerdir. Plaj sedimanlarında ve kıyı sularında gözlenen PET ve poliamid yaygınlığının aksine, poliüretan ve polietilen, yağmur suyu drenaj sedimanları çevresinde baskın plastik polimerler olarak ortaya

çıkılmış ve bu da varyasyonun potansiyel olarak farklı plastik kaynaklarından kaynaklanabileceğini ortaya koymuştur.

Villanova Solano ve ark. (2024), Kanarya Adaları, İspanya'nın kıyı altı sedimanlarında mikroplastik kirliliğinin ortaya çıkarılması üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışma, Kanarya Adaları takımadalarının (İspanya) kıyı altı kıyı çökeltlerinde Mikroplastiklerin ve selülozik parçacıkların yaygınlığını ve dağılımını incelemiştir. Elde edilen ortalama konsantrasyon $3,9 \pm 1,6$ öge/g kuru ağırlıktır. Parçacıkların morfolojisi, rengi, boyutu ve bileşimi ile ilgili olarak tüm adalarda benzer bir dağılım modeli gözlemlenmiştir: çoğunlukla renksiz/yarı saydam ve mavi lifler (%60,0) gözlemlenmiştir. Ayrıca parçalar ve çok daha az oranda da mikro boncuklar, filmler ve karışık karışıklıklar da bulundu. Liflerin %12,5'inin Mikro Fourier Dönüşümü Kızılötesi spektroskopi analizi, bunların çoğunlukla selülozik (%54,5) doğal veya yarı sentetik olduğunu, ardından polyester (%22,7) ve akrilik (%4,5) olduğunu göstermiştir.

Zendehboudi A. ve ark. (2024), Gemi balast suyundaki mikroplastiklerin analizi ve Basra Körfezi'ndeki ekolojik risk değerlendirme çalışmaları yapmışlardır. Çalışmada, balast suyundaki mikroplastiklerin boyut dağılımı, polimer tipi ve ekolojik riskleri ilk kez bu çalışmada araştırılmıştır. Balast suyu ve deniz suyu numunelerindeki ortalama mikroplastik seviyeleri sırasıyla 12,53 ve 11,80 öge/L bulmuşlardır. Mikroplastikler ağırlıklı olarak 50-300 µm boyut aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. Balast suyunda ve deniz suyunda tanımlanan mikroplastiklerin sırasıyla baskın tipi, rengi ve polimer türü; lif, siyah ve polikarbonattır (PC). Kirlilik yükü indeksi (PLI), tehlike indeksi (HI) ve risk bölümü (RQ), potansiyel olarak ekolojik riske işaret eden yüksek düzeyde mikroplastik kirliliğine yol açtığını ortaya koymuşlardır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan bu çalışma, 4 Ağustos 2023 tarihinde Ordu ili Karadeniz sahili boyunca Gülyalı, Altınordu, Perşembe, Fatsa, Ünye ilçelerinden belirlenen 6 istasyondan deniz suyu ve kum numuneleri alınarak mikroplastik varlığı araştırılmış, bulunan mikroplastiklerin karakterizasyonları, bolluğu ve dağılımları incelenmiştir.

Çalışma alanı Ordu İli Karadeniz sahili boyunca olan alanı kapsamaktadır. Her istasyondan birer defa, alanı tarayarak deniz suyu ve sediment numuneleri alınmıştır. Çalışma süresince üçer tekrarlı toplam 36 numune analiz edilmiştir. Analizi yapılan örneklerde 1µm-5mm boyut aralığındaki mikroplastiklerin oranı tespit edilmiş ve polimer yapıları incelenmiş ve tespit edilen mikroplastiklerin renk, boyut ve tip analizi yapılmıştır.

3.1. Örnekleme

Ordu ilinin Giresun ili ile sınır Gülyalı ilçesi'nden Ordu ilinin Samsun ili ile sınır Ünye ilçesine kadar uzanan Doğu Karadeniz sahil şeridi boyunca 2023 yılı ağustos ayında belirlenen altı istasyondan deniz suyu ve kum örnekleri alınmıştır. Örnekleme alanı fotoğrafları Şekil 3.1'de verilmiştir. Bu istasyonların özellikleri Tablo 3.1'de, İstasyonlar Haritası Şekil 3.2'de ve örnekleme noktalarına deniz suyu verileri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Kum örnekleri her istasyonun, hemen kıyı çizgisi gerisinden ve kıyının orta kısmından (şahit numune), 1 x 1 m'lik kare alanın, yüzeyden 5 cm'lik kısımdan, her istasyondan birer adet olmak üzere metal kürek kullanılarak alınmıştır (Thompson ve ark., 2004; Zhou ve ark., 2021) (Şekil 3.3) Kum örnekleri poşetlenerek laboratuvara getirilmiştir. Deniz suyu örnekleri, her istasyondan bir adet olmak üzere, 5 lt'lik kova

yardımıyla, toplamda 100 lt deniz suyunun 35 µm'lik göz açıklığına sahip plankton ağından süzülerek alınmış ve cam kavanozda saklanarak laboratuvara getirilmiştir (Masura ve ark., 2015) (Şekil 3.4).

Tablo 3.1. İstasyon Bilgileri

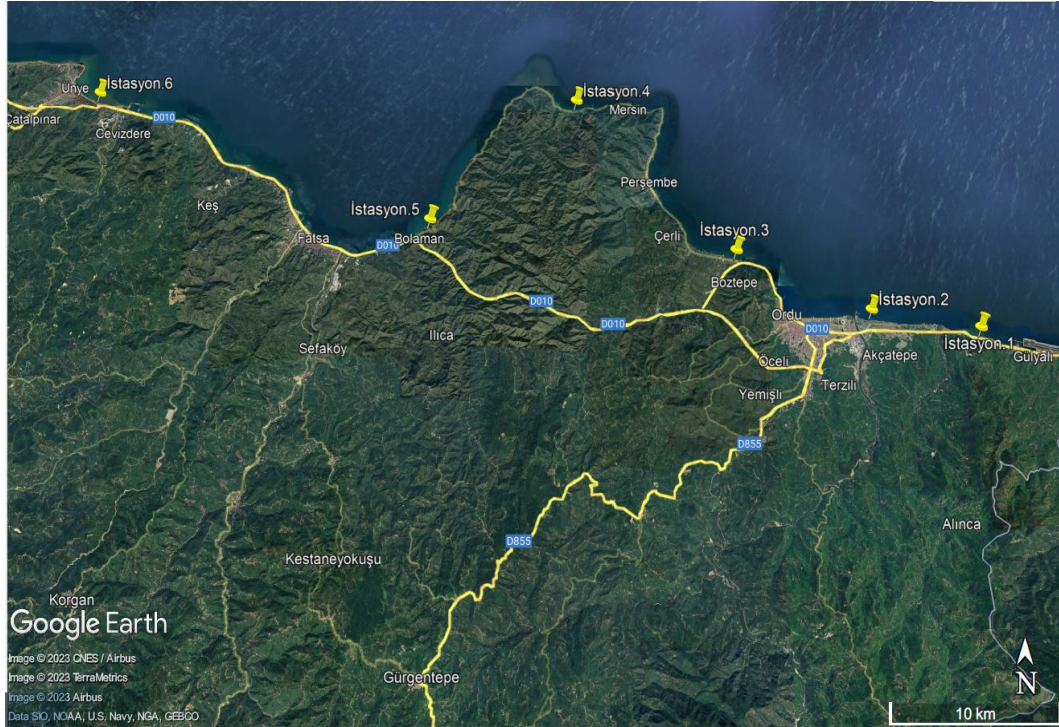
İstasyon	İstasyon Bilgileri	Koordinatlar
İstasyon 1: Mavi Dünya Plajı	İlçe Merkezine 7,6 km uzaklıktadır. Nüfusun az olduğu bölgededir. Kumsal zeminli ve bölgenin ünlü plajlarından. Bölge nüfusu 9.243 kişidir.	40°58'22.45"K 38° 1'47.65"D
İstasyon 2: Cumhuriyet Mahallesi Halk Plajı	İlçe Merkezine 4 km uzaklıkta kumsal zeminlidir. Yakınlarında sanayi bölgesi, ırmak ve AAT bulunmaktadır. Kumsal zeminlidir. Bölge nüfusu 225.349 kişidir.	40°58'59.50"K 37°56'40.72"D
İstasyon 3: Kumbaşı Belediye Plajı	İlçe Merkezine 7 km uzaklıkta kumsal zeminlidir. Bölge yakınlarında AAT, Liman ve dere bulunmaktadır. Bölge nüfusu 225.349' kişidir.	41° 1'6.88"K 37°50'23.64"D
İstasyon 4: Çaka Plajı	İlçe Merkezine 12,7 km uzaklıktadır. Bölge de kamp alanları bulunmaktadır. Yakınlarında dere bulunmaktadır. Bölge nüfusu 31.278 kişidir.	41° 6'48.13"K 37°42'45.81"D
İstasyon 5: Bolaman Plajı	İlçe Merkezine 9 km uzaklıktadır. Bölge yakınında liman bulunmaktadır. Ayrıca yakınlarından dere geçmektedir. Bölge nüfusu 125.399 kişidir.	41° 2'12.58"K 37°35'33.50"D
İstasyon 6: Kırkevler Plajı	İlçe Merkezine 10 km uzaklıktadır. Yakınlarda AAT bulunmaktadır. İlçe merkezine yakın konumdadır. Yakınlardan dere geçmektedir. Bölge nüfusu 132.915 kişidir.	41° 7'2.95"K 37°18'34.39"D

Tablo 3.2. Örnekleme noktalarına deniz suyu verileri

İstasyon	Su Sıcaklığı(C°)	pH Değeri	İletkenlik (ms/cm)	Çözülmüş Oksijen (mg/L)
İstasyon 1	28,51	6,94	56,25	5,37
İstasyon 2	27,95	6,89	45,03	5,80
İstasyon 3	29,14	6,61	46,88	5,35
İstasyon 4	29,17	6,58	46,87	5,34
İstasyon 5	27,98	6,90	58,14	5,50
İstasyon 6	28,59	6,89	49,55	5,48



Şekil 3.1. Örnekleme alanı fotoğrafları



Şekil 3.2. İstasyonlar Haritası



Şekil 3.3. Kum Örneklerinin Toplanması



Şekil 3.4. Denizsuyu Örneklerinin Alınması

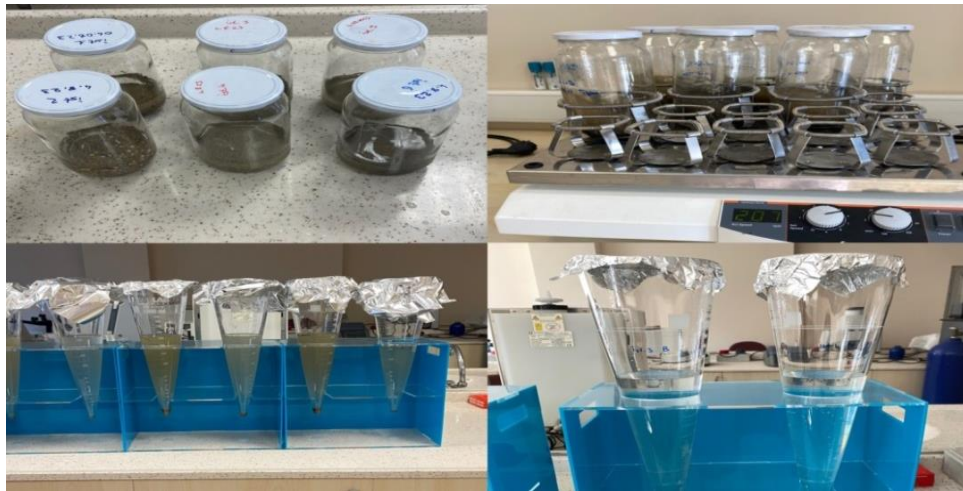
3.2. Numunelerin Hazırlanması ve Mikroplastik Analizi

Mikroplastik partikülleri, ıslak peroksidasyon (WPO) ve yoğunluk ayırıştırma teknikleri kullanılarak örneklerden izole edilmiştir (Masura ve ark., 2015). Islak olarak laboratuara getirilen sediment numuneleri ayrı ayrı kaplara konularak 70 °C' de sabit bir ağırlığa kadar etüvde kurutulmuş ve ardından 5 mm'den büyük parçacıkları ayıklamak için 5 mm gözenek açıklığına sahip çelik elekten geçirilmiştir. Kurutulmuş sediment numuneleri üçer tekrarlı 50 g tartılmış ve 250 mL'lik bir cam şişede 200 mL doymuş sodyum klorür (140 g/L NaCl) çözeltisi ile 15 dakika karıştırılmıştır. Partiküllerin iyi bir şekilde ayrıldığından emin olmak için tüm prosedür her numune için en az üç kez tekrarlanarak her bir numune ayırma hunisine konularak kontamine olmaması için üstleri kapatılarak, 24 saat boyunca çökmeye bırakılmıştır. Çökmeye bırakılan numunelerin mikroplastik içeren üst kısımdaki çözelti cam pipet yardımıyla temiz bir şişeye aktarılmıştır. Organik maddeleri uzaklaştırmak için ıslak peroksidasyon (WPO) katalizörü olarak demir sülfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) çözeltisi (20 mL) ve fenton reaktifi olarak bilinen % 30 hidrojen peroksit (H_2O_2) çözeltisi (20 mL) kullanılmıştır. Beherler daha sonra hotplate üzerine yerleştirilmiş ve 60-70 C°'de 80 rpm 6 saat oksidasyona uğratılmıştır (Masura ve ark., 2015). Elde edilen karışımdaki mikroplastikler bir cam filtre kâğıdı (GF/F gözenek boyutu: 0.45 μm , 100 mm Ø) ve bir vakum pompası kullanılarak filtrelenmiştir (Şekil 3.5) Filtre kağıtları laboratuvar ortamında güvenilir şekilde cam petri kabında oda sıcaklığında kurutulmuş ve sonrasında steromikroskop ile mikroplastikler gözlemlenmiştir.

Labratuvara getirilen deniz suyu örnekleri için de ıslak peroksidasyon (WPO) kullanılmıştır. Çözeltiler, ekstrakte edilen partikülleri içeren beherlere eklenmiş ve 10 dakika bekletilmiştir. Beherler daha sonra hotplate üzerine yerleştirilmiş ve 60-70 C°'de 80 rpm 6 saat oksidasyona uğratılmıştır (Masura ve ark., 2015). Kalıntı organik madde görünmeyene kadar sindirim sürecini uzatmak ve tamamlamak için ilave 10 mL H_2O_2 eklenmiştir. Sindirim işlemi tamamlandıktan sonra partiküller için yoğunluk ayırma işlemi kullanılarak ekstrakte edilmiştir. Sonra tekrar 35 μm

plankton ağından süzülen numunede, mikroplastikleri diğer bileşenlerden ayırmak için yeterli miktarda 1.2 g/cm^3 NaCl eklenerek çözelti 1 gece bekletilmiştir. Bu işlemlerden sonra cam filtre kâğıdı (GF/F gözenek boyutu: $0.45 \mu\text{m}$, $100 \text{ mm } \varnothing$) ve bir vakum pompası kullanılarak filtrelenmiştir (Şekil 3.6). Filtre kağıtları laboratuvar ortamında güvenilir şekilde cam petri kabında oda sıcaklığında kurutulmuştur. Örneklerde ki mikroplastiklerin sayımı sterio mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir (Masura ve ark., 2015).

Kalite güvencesi için olası havadaki mikroplastik (MP) kontaminasyonunu önlemek için numunelerin diseksiyonu ve aktarılması işlemi mümkün olduğunca çabuk yapılmış ve işlemlere başlamadan önce çalışma alanı alkol ile dezenfekte edilmiştir. Çalışma boyunca nitril eldiven, pamuklu laboratuvar önlüğü, cam ve metal eşya kullanılmıştır. Ayrıca tüm cam eşyalar ve aletler, kullanılmadan önce filtreden geçirilmiş distile su ($0.45 \mu\text{m}$, $100 \text{ mm } \varnothing$) ile durulanmış ve kurutulmuştur. Tüm kullanılacak cam eşyalar ve aletler kullanılmadıkları zaman alüminyum folyo ile kaplanarak kontaminasyondan uzak tutulmuştur. Tüm reaktiflerde (doymuş NaCl solüsyonu, H_2O_2) kullanılmadan önce filtre kâğıdından ($0.45 \mu\text{m}$, $100 \text{ mm } \varnothing$) geçirilmiştir. Laboratuvardan olası mikroplastik kontaminasyonunu için kör örnek uygulaması yapılmıştır. Bunun için üç boş filtre kâğıdı filtrelerden distile su geçirilmiş ve laboratuvarda 24 saat üstü açık olarak bekletildikten sonra stereomikroskopta gözlenmiştir. Bu gözlem sonucunda bu filtre kâğıtlarında mikroplastik tespit edilmemiştir (Zhao et al., 2023).



Şekil 3.5. Sediment numunelerinin hazırlanması



Şekil 3.6. Su ve sediment numunelerinin hazırlanması

3.3. FT-IR Spektroskopi Analizi

Bu çalışmada, FT-IR spektrumları, plastik örneklerinin türü ve morfolojisine en uyumlu kurulum olarak kabul edilen tek elemanlı bir MCT dedektöründen faydalanılarak zayıflatılmış Toplam Yansıma (ATR) modunda alınmıştır. Analiz için Partiküller Zayıflatılmış Toplam Yansıma-Fourier Dönüşümü Kızılötesi spektrometresi (VERTEX 70 Series, Bruker, Germany) kullanılmıştır. Spektral aralığı $4000-400\text{ cm}^{-1}$ olarak ve polimer tipinin tespiti için 2.0 cm^{-1} çözünürlükte 128 tekrarlı tarama yapılmıştır. Örneklerden elde edilen spektra verilerinde “0” baz alınarak linear düzeltme ve en yüksek absorbans değerine göre normalizasyon transformasyonları yapılmıştır. Transformasyonlarda “Spektragryph© version 1.2.14” programı kullanılmıştır. Elde edilen absorbans spektrumları cihaz kütüphanesinde kayıtlı verilerle yansıtılmış ve önerilen polimer türlerinin spektrumlarıyla eşleştirilerek aralarındaki benzerliğe göre analiz edilmiştir (Gedik ve Gözler, 2022).

3.4. Mikroplastiklerin Sağlık Üzerindeki Potansiyel Etkileri

Tüm örneklerde mikroplastiklerin ekolojik riskini değerlendirmek için polimer risk endeksi (H) kullanılmıştır. Mikroplastiklerin potansiyel ekolojik riski, önceki çalışmalarda uygulandığı gibi polimer tehlike endeksi (PHI) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir (Lithner vd. 2011; Xu vd., 2018; Ranjani vd., 2021). Plastik polimerlerin çevre ve insan sağlığına yönelik potansiyel riskleri, monomerlerin kimyasal toksisitesine dayalı olarak değerlendirilebilir (Lithner ve ark. 2011), Mikroplastikler için polimer tehlike endeksi (PHI) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir;

$$PHI = \sum P_n \times S_n$$

Burada, P_n her bir numunede tespit edilen her bir mikroplastik polimer türünün yüzdesidir ve S_n, Lithner ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada verilen mikroplastiklerdeki polimerlerin tehlike puanıdır. Ayrıca, Ranjani ve diğerleri (2021) tarafından yürütülen çalışma takip edilerek tehlike kategorileri ve değerleri değerlendirilmiştir.

3.5. Veri Analizi

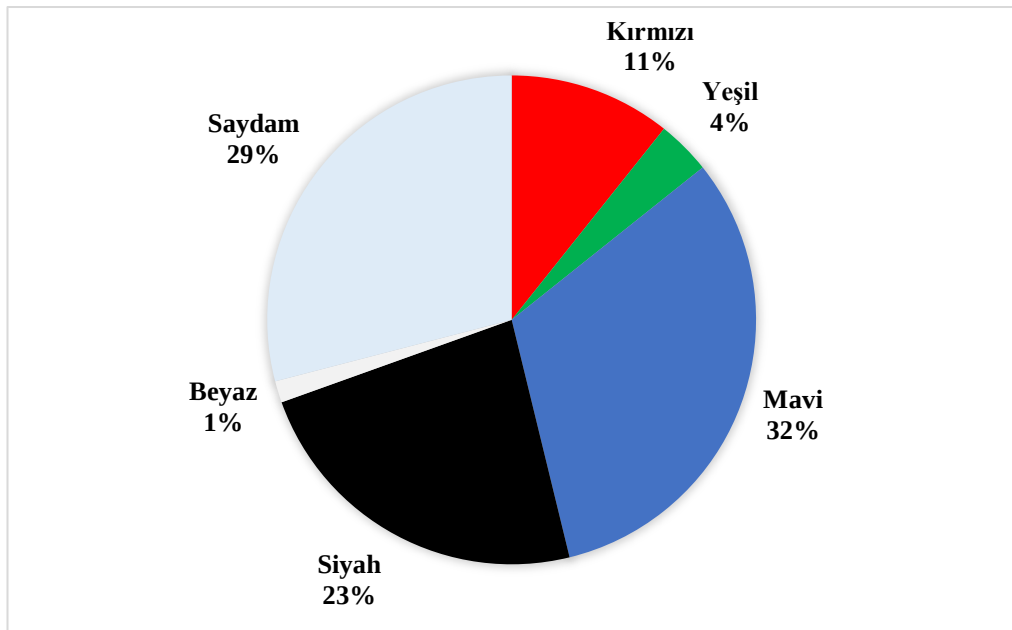
İstasyonların mikroplastik bolluğuna göre istasyonlar arasında anlamlı bir fark olup olmadığını karşılaştırmak için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Çok Değişkenli Hiyerarşik Küme Analizi (HCA) tekniği, benzerlik ölçütü olarak Ward's yöntemi kullanılarak istasyonların ortalama mikroplastik bollukları arasında oluşabilecek kümeleri sınıflandırmak için kullanılmıştır. Anlamlılık düzeyi P < 0.05 olarak belirlenmiş ve ortalama değerler ortalama ± standart sapma (SD) olarak ifade edilmiştir. İstatistiksel analizler SPSS Statistics for Windows, sürüm 25.0 (IBM, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar grafik veya tablo olarak ifade edilmiştir.

BÖLÜM 4. BULGULAR

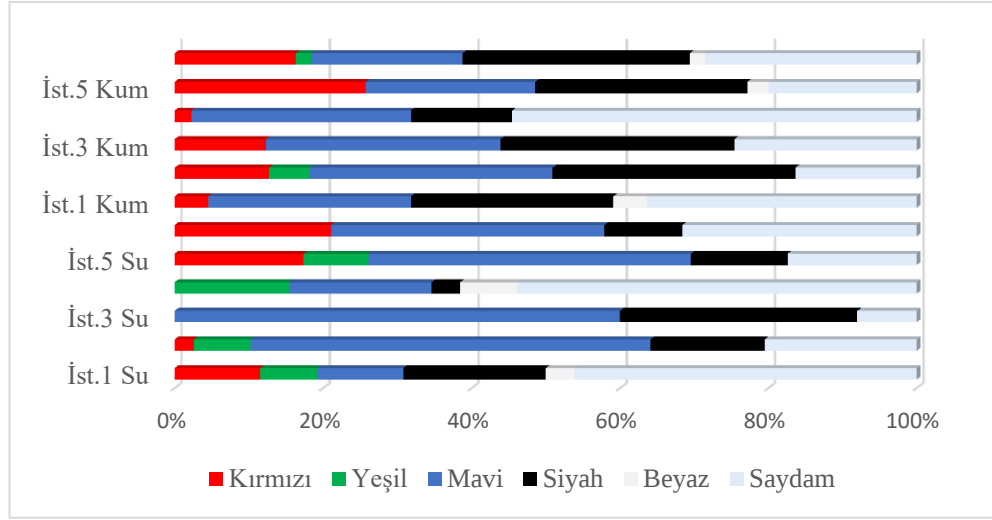
Bu araştırma kapsamında, sediment ve su örneklerinden elde edilen 0-5 mm boyut aralığındaki mikroplastikler incelenmiştir. Her istasyondan alınan numuneler, mikroplastiklerin rengi, boyutu ve türü açısından detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

4.1. Renk Analizi

Araştırma süresince alınan numunelerde tespit edilen mikroplastiklerin renk analizi sonuçlarına göre, kırmızı, yeşil, mavi, siyah ve saydam sedolmak üzere toplamda 6 farklı renk belirlenmiştir. En sık rastlanan renk, %32 ile mavi olarak kaydedilmiştir. Bunları sırasıyla, %29 saydam, %23 siyah, %11 kırmızı, %4 yeşil ve %1 ile beyaz renkleri takip etmiştir. Renklerine göre mikroplastiklerin genel dağılımı Şekil 4.1.' de ve istasyonlara göre mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.2'de verilmiştir.

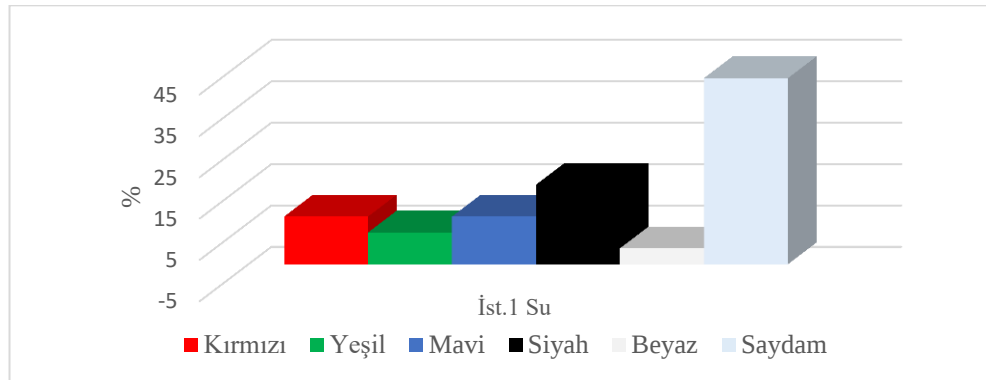


Şekil 4.1. Renklerine göre mikroplastiklerin genel dağılımı



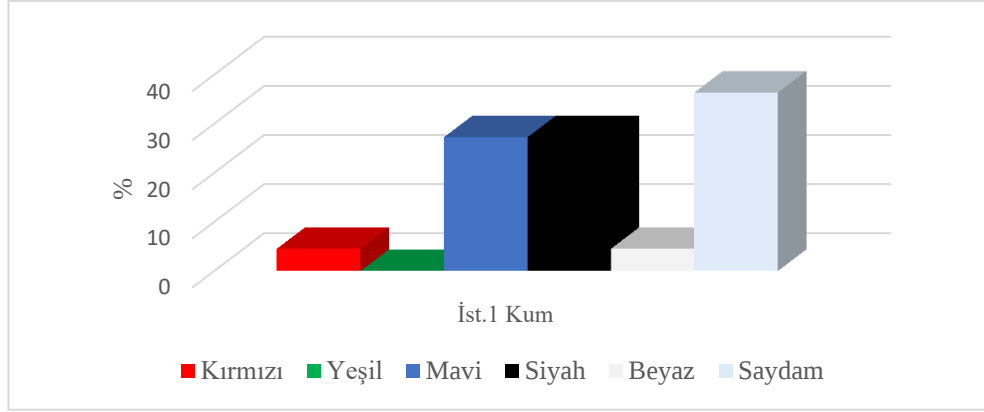
Şekil 4.2. İstasyonlara göre mikroplastiklerin genel renk dağılımları

Mikroplastiklerin istasyonlarda bulunan renklerine dair detaya bakıldığında, İstasyon 1'den alınan deniz suyu numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde en yaygın görülen renk, %46 ile saydam renktir. Ardından bunu sırasıyla, %19 siyah, %19 mavi, %12 kırmızı, %8 yeşil ve %4 beyaz renk takip etmektedir. İstasyon 1'den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.3'te ayrıntılı verilmiştir.



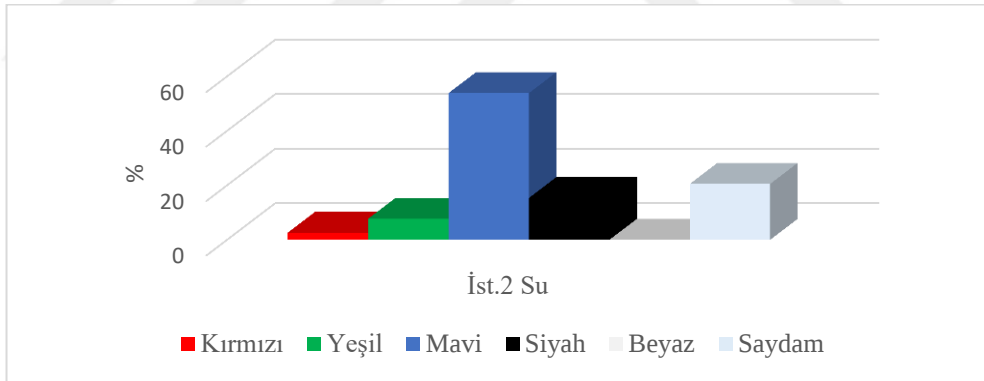
Şekil 4.3. İstasyon 1'den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

İstasyon 1'den alınan kum numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde en fazla görülen renk, %36 ile saydam renktir. Bunu, %27 ve yine %27 mavi, %5 beyaz ve %5 kırmızı renk izlemektedir. İstasyon 1'den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.4'te verilmiştir.



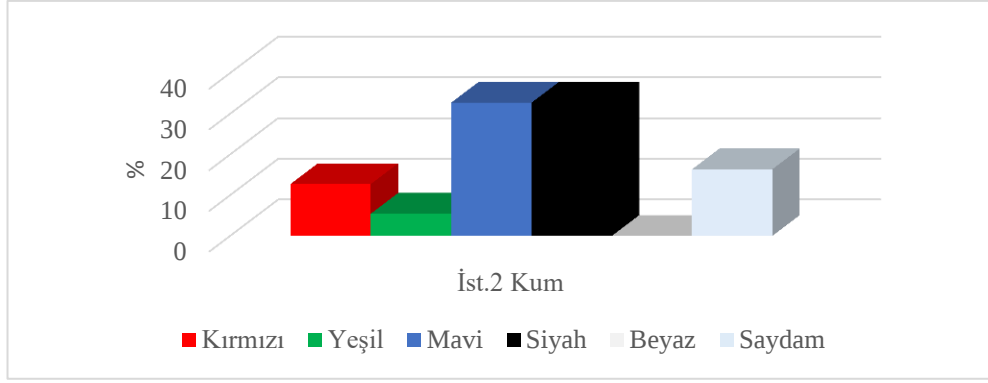
Şekil 4.4. İstasyon 1’den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

İstasyon 2’den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerde en yaygın görülen renk, %54 ile mavidir. Ardından bunu sırasıyla, %21 saydam, %15 siyah, %8 yeşil ve %3 kırmızı renkteki mikroplastikler takip etmiştir. İstasyon 2’den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.5’te verilmiştir.



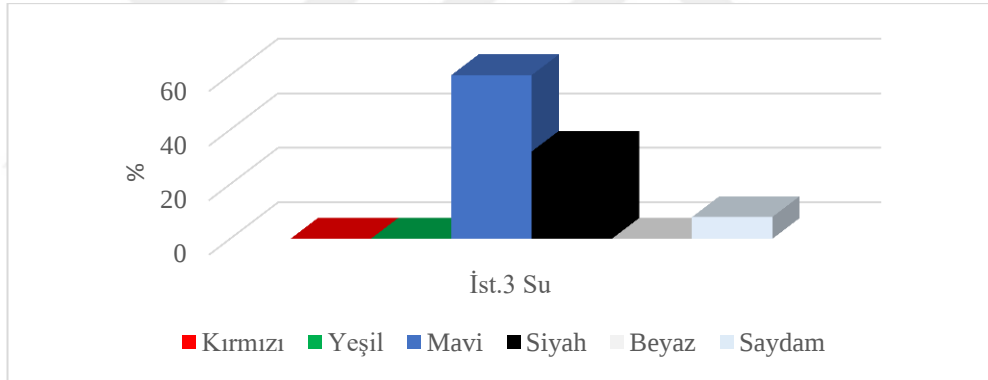
Şekil 4.5. İstasyon 2’den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

İstasyon 2’den alınan kum numunelerinden tespit edilen mikroplastiklerde, en yaygın görülen renk, %33 siyah ve yine %33 ile mavi renktir. Bunu, %16 saydam, %13 kırmızı ve yeşil %5 renk takip etmiştir. İstasyon 2’den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.6’da verilmiştir.



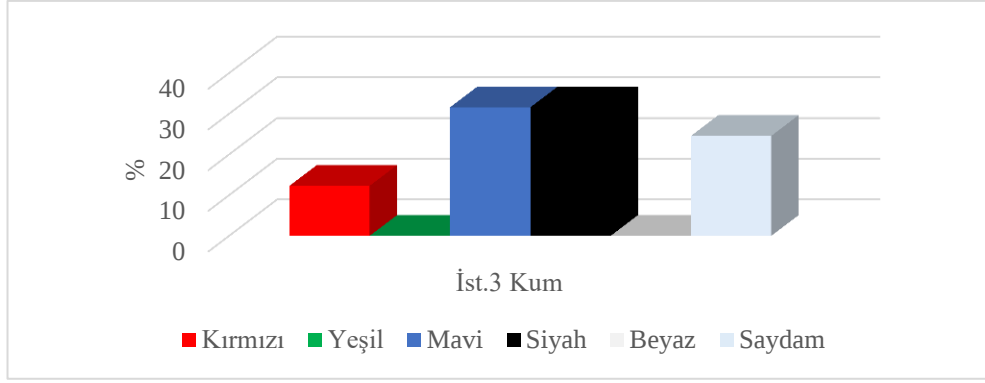
Şekil 4.6. İstasyon 2’den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

İstasyon 3’ten alınan deniz suyu numunelerindeki tespit edilen mikroplastiklerdeki en yaygın görülen renk, %60 ile mavi renktir. Ardından sırasıyla, %32 siyah ve %8 saydam renk izlemektedir. İstasyon 3’ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.7’de verilmiştir.



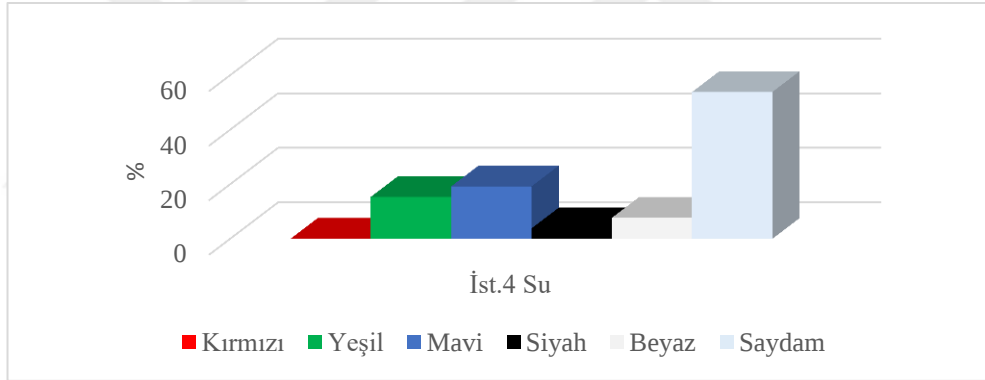
Şekil 4.7. İstasyon 3’ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

İstasyon 3’ ten alınan kum numunelerinden tespit edilen mikroplastiklerdeki en yaygın görülen renk, %32 mavi ile %32 siyahtır. Ardından bunları sırasıyla, %25 ile saydam ve %12 kırmızı renk izlemektedir. İstasyon 3’ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.8’de verilmiştir.



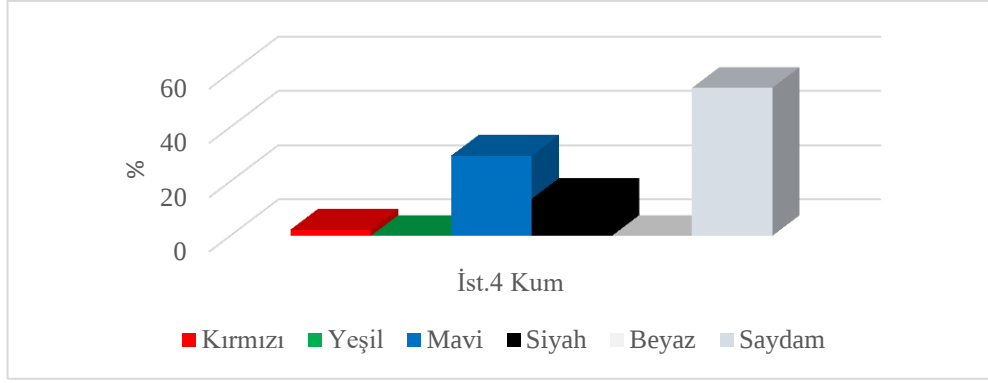
Şekil 4.8. İstasyon 3'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

İstasyon 4'ten alınan deniz suyu numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde en yaygın renk, %54 ile saydam renktir. Ardından bunu sırasıyla, %19 mavi, %15 yeşil, %8 beyaz ve %4 siyah renk takip etmektedir. İstasyon 4'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.9'da verilmiştir.



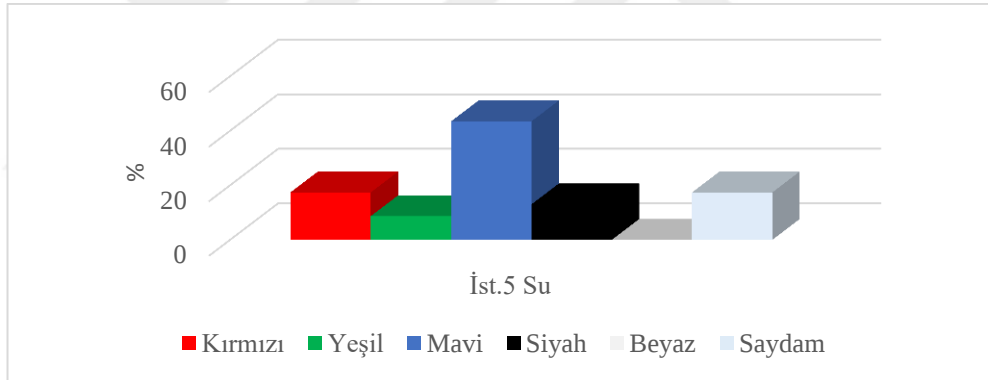
Şekil 4.9. İstasyon 4'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

İstasyon 4'ten alınan kum numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde en yaygın görülen renk, %55 ile saydam renktir. Ardından sırasıyla, %30 mavi, %14 siyah ve %2 kırmızı renkte mikroplastik izlemektedir. İstasyon 4'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.10'da verilmiştir.



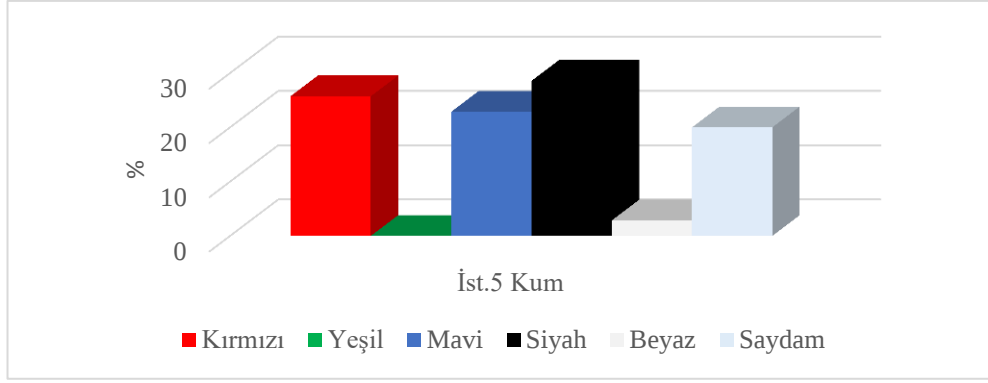
Şekil 4.10. İstasyon 4'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

İstasyon 5'ten alınan deniz suyu numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde en yaygın görülen renk, %43 ile mavidir. Ardından sırasıyla, %17 kırmızı yine %14 ile saydam, %13 siyah ve %19 yeşil renk izlemektedir. İstasyon 5'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.11'de verilmiştir.



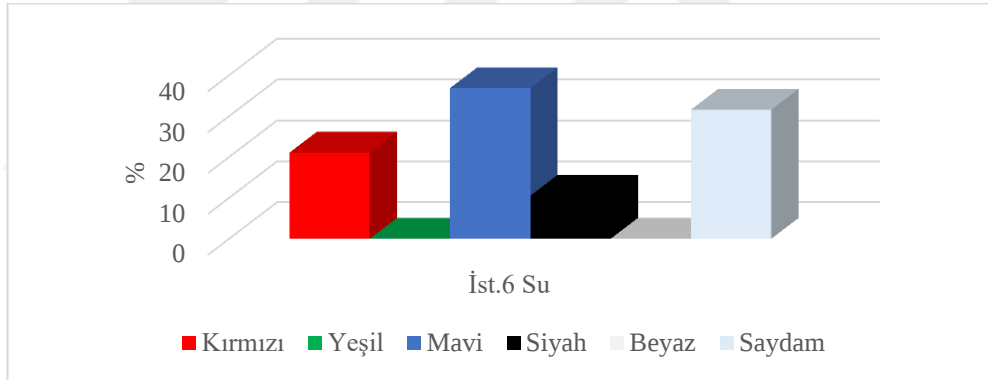
Şekil 4.11. İstasyon 5'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

İstasyon 5'ten alınan kum numunelerinde en yaygın renk, %29 ile siyahtır. Ardından sırasıyla, %26 kırmızı, %23 mavi, %20 saydam ve %3 beyaz renkte mikroplastik saptanmıştır. İstasyon 5'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.12'de verilmiştir.



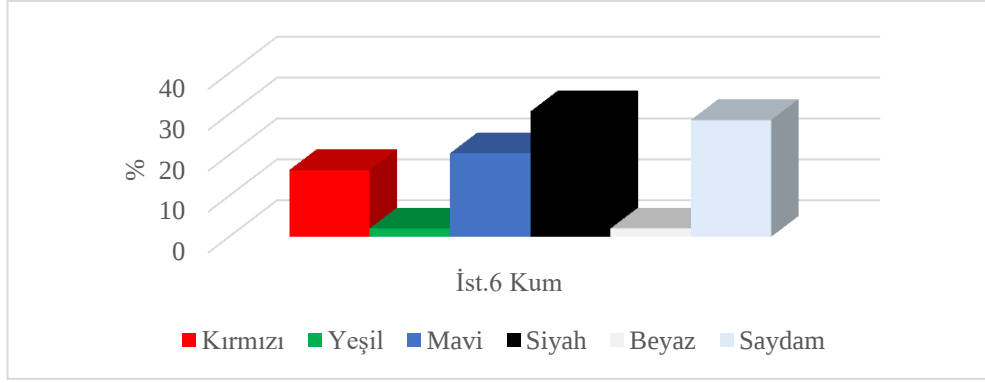
Şekil 4.12. İstasyon 5'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

İstasyon 6' dan alınan deniz suyu numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde görülen en yaygın renk, %37 ile mavi renktir. Ardından sırasıyla, %32 saydam, %21 kırmızı ve %11 siyah renk izlemektedir. İstasyon 6'dan alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. İstasyon 6'dan alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

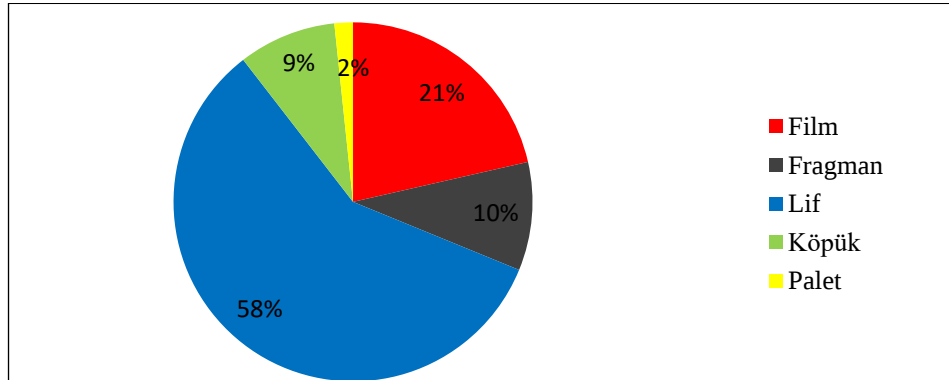
İstasyon 6'dan alınan kum numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde ise en yaygın renk, %31 siyahtır. Ardından sırasıyla, %29 saydam, %20 mavi, %16 kırmızı, %2 yeşil ve yine %2 saydam renkte mikroplastikler saptanmıştır. İstasyon 6'dan alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14. İstasyon 6'dan alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin renk dağılımları

4.2. Tip Analizi

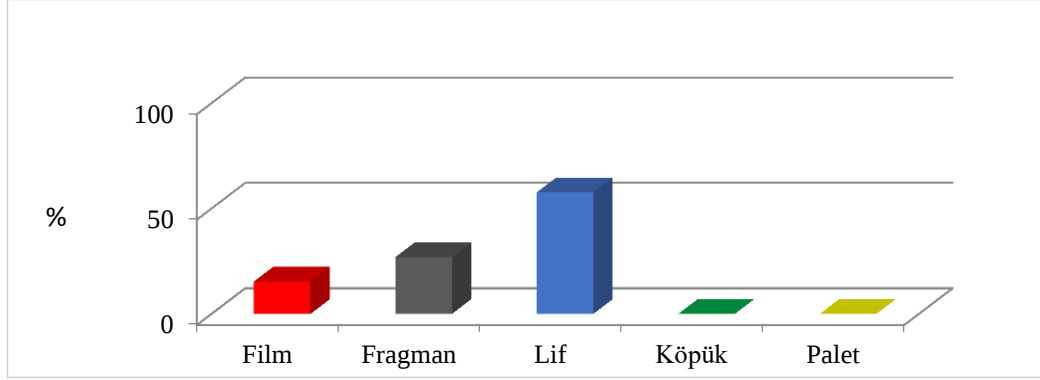
Çalışma kapsamında altı ayrı istasyondan alınan örneklerden tespit edilen mikroplastik parçaları tiplerine göre beş farklı kategoride film, fragman, lif, köpük, ve pellet olarak gruplandırılmıştır. Elde edilen verilere göre, toplamda %58,33 olarak en yaygın oranda lifler tespit edilmiştir. Bu tespitlere göre, liflerin ardından en sık rastlanan mikroplastikler sırasıyla %21,43 film, %9,76 fragman, %8,80 plastik parçası ve %1,66 pelet'tir. Çalışmada tespit edilen mikroplastiklerin tipine göre genel dağılımı Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Mikroplastiklerin tipine göre genel dağılımı

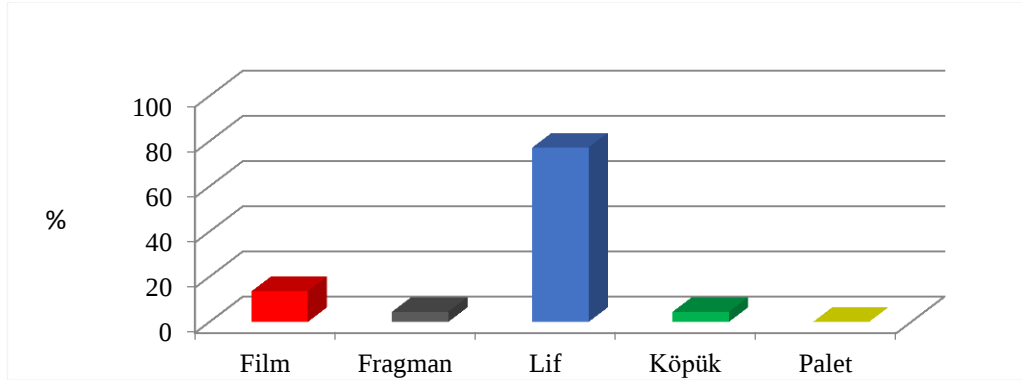
Mikroplastiklerin istasyonlarda bulunan tiplerine dair detaylı bir analizi yapıldığında; İstasyon 1'den alınan deniz suyu numunelerinde en yaygın rastladığımız mikroplastikler %58 ile plastik liflerdir. Ardından gözlemlenen diğer mikroplastikler sırasıyla, %27 fragman ve %15 film şeklindedir. İstasyon 1'den alınan deniz suyu

numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.16’da verilmiştir.



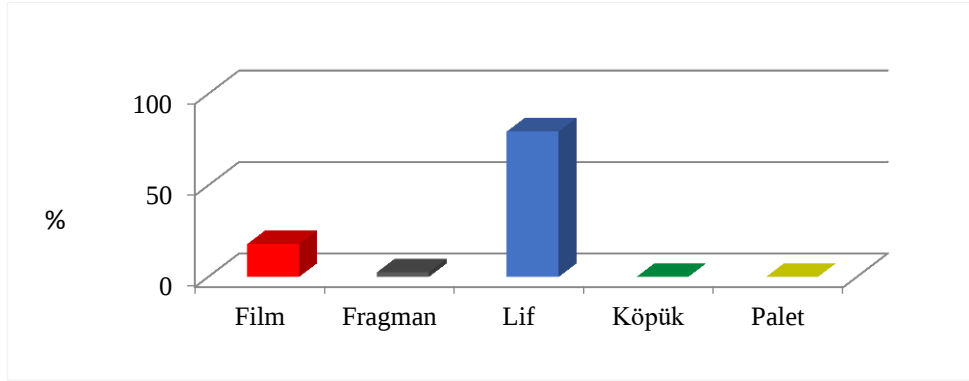
Şekil 4.16. İstasyon 1’den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tipine göre dağılımları

İstasyon 1’den alınan kum numunelerinde ise, en yaygın rastladığımız mikroplastik şekli %77 ile plastik liflerdir. Ardından gözlemlenen diğer mikroplastik şekilleri sırasıyla %14 film, %5 fragman ve ayrıca %5 köpük şeklindedir. İstasyon 1’den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin şekillerine göre dağılımları Şekil 4.17’de verilmiştir.



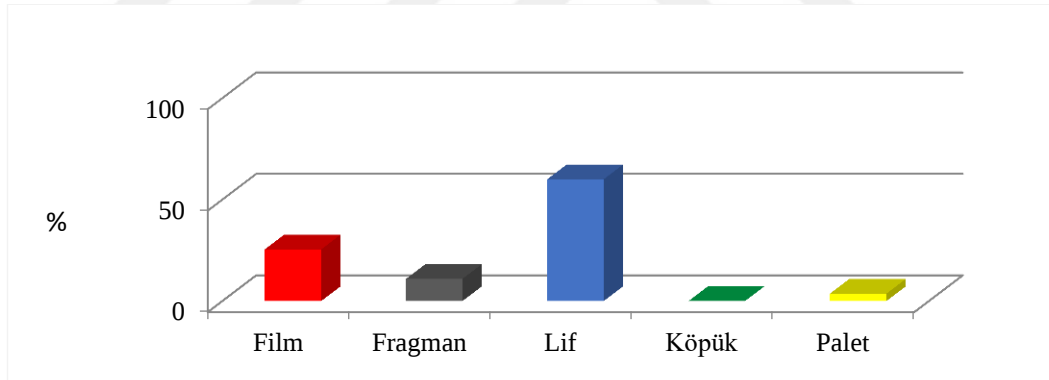
Şekil 4.17. İstasyon 1’den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tipine göre dağılımları

İstasyon 2’den alınan deniz suyu numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde, en yaygın gözlemlenen mikroplastikler %79 ile plastik liflerdir. Ardından gözlemlenen diğer mikroplastikler sırasıyla, %18 film ve %3 fragmandır. İstasyon 2’den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.18’de verilmiştir.



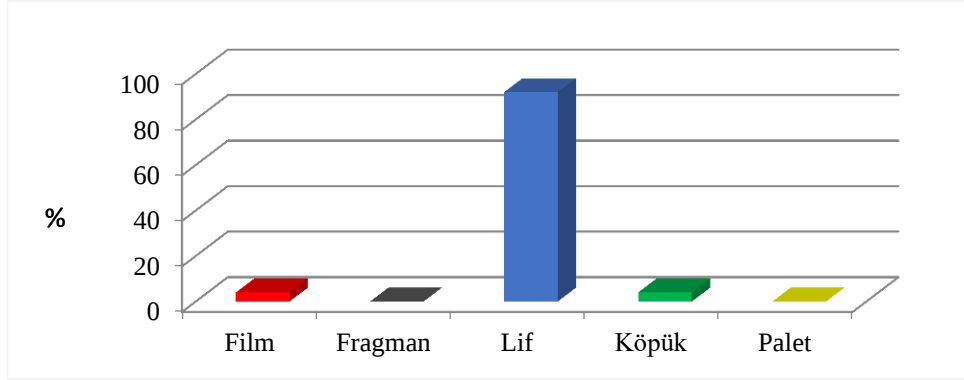
Şekil 4.18. İstasyon 2’den alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tipine göre dağılımları

İstasyon 2’den alınan kum numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde, en yaygın gözlemlenen mikroplastikler %60 ile plastik liflerdir. Ardından gözlemlenen diğer mikroplastikler sırasıyla, %25 film ve %11 fragman ve ayrıca %4 pelettir. İstasyon 2’den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.19’da verilmiştir.



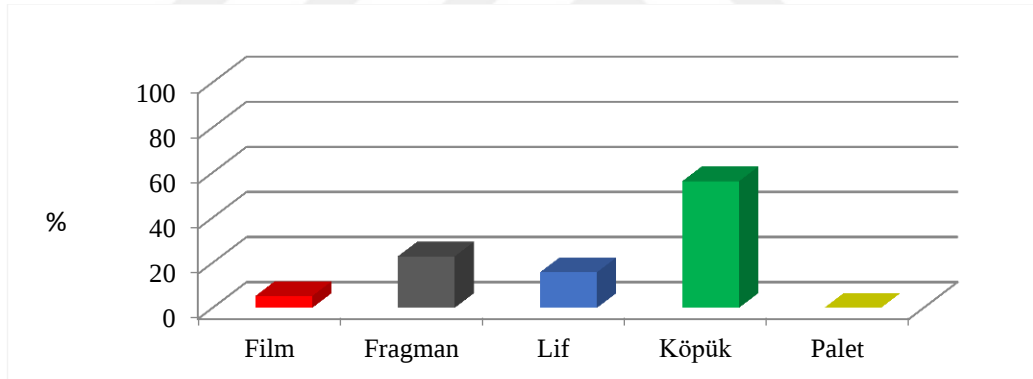
Şekil 4.19. İstasyon 2’den alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları

İstasyon 3’ten alınan deniz suyu numunelerinde tespit edilen mikroplastikleri incelediğimizde, en yaygın gözlemlenen mikroplastikler %92 ile plastik liflerdir. Ardından gözlemlenen diğer mikroplastikler, %4 film ve %4 köpük şeklindedir. İstasyon 3’ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.20’de verilmiştir.



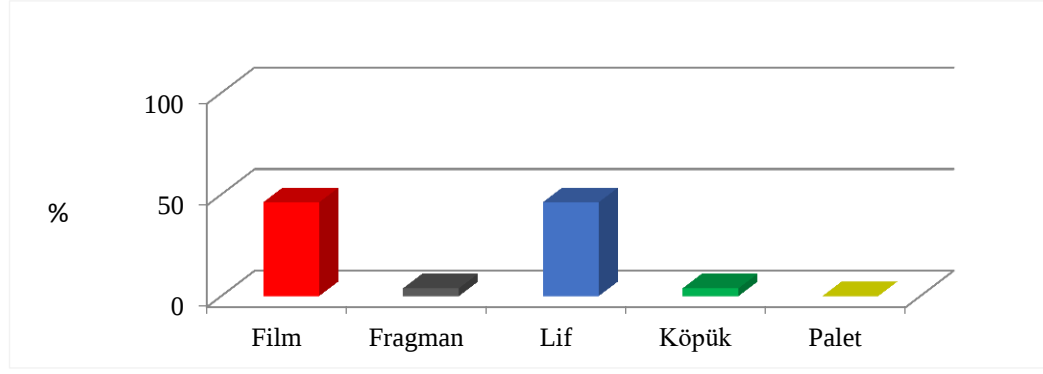
Şekil 4.20. İstasyon 3'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları

İstasyon 3'ten alınan kum numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde, en yaygın gözlemlenen mikroplastik tipi, %56 ile köpüktür. Ardından gözlemlenen diğer tipler ise, %23 fragman, %16 lif ve %5 filmidir. İstasyon 3'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.21'de verilmiştir.



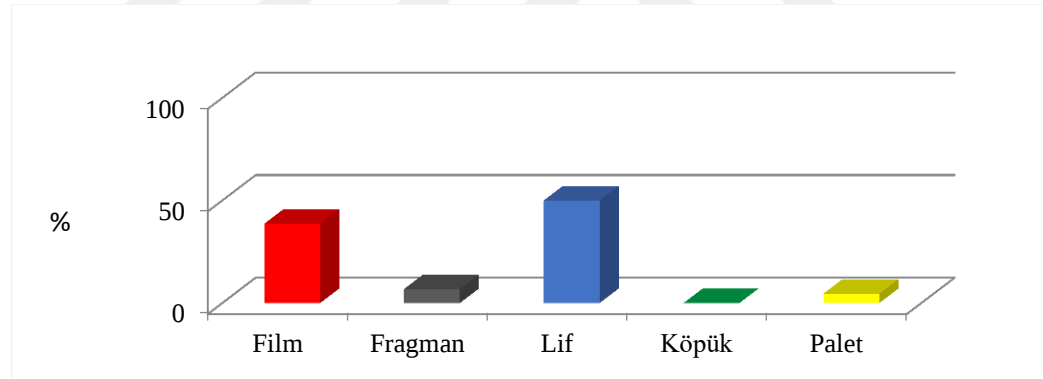
Şekil 4.21. İstasyon 3'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları

İstasyon 4'ten alınan deniz suyu numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde, en yaygın gözlemlenen mikroplastikler %46 lif ve %46 filmidir. Ardından bunu %4 fragman ve %4 köpük izlemektedir. İstasyon 4'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.22'de verilmiştir.



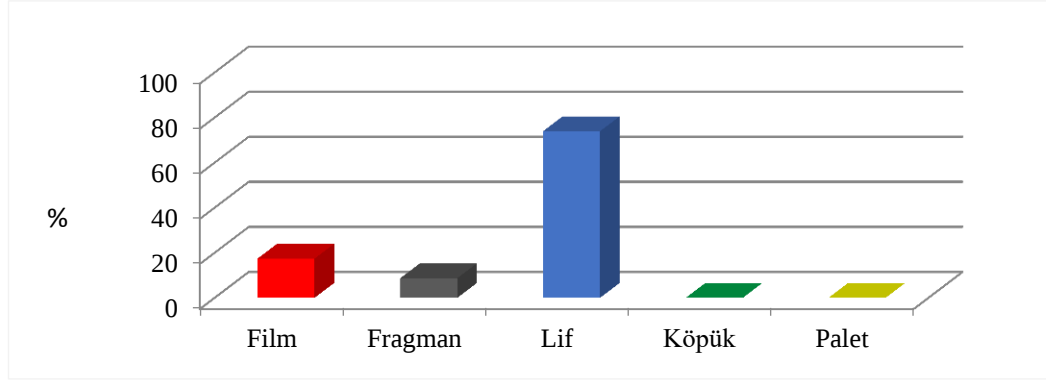
Şekil 4.22. İstasyon 4'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları

İstasyon 4'ten alınan kum numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde en yaygın gözlemlenen mikroplastik tipi, %50 ile lif parçalardır. Ardından gözlemlenen diğer tipler ise, %39 film, %7 fragman ve %5 pelettir. İstasyon 4'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.23'de verilmiştir.



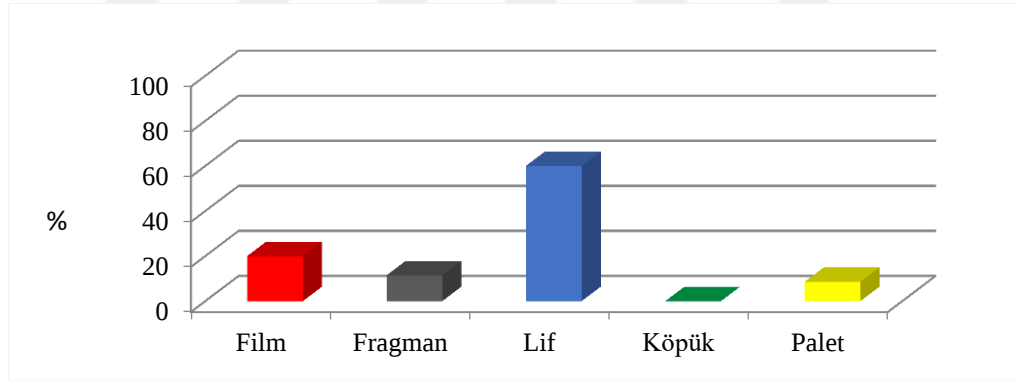
Şekil 4.23. İstasyon 4'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları

İstasyon 5'ten alınan deniz suyu numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde en yaygın gözlemlenen mikroplastik tipi, %74 ile lif parçalardır. Ardından gözlemlenen diğer şekiller ise, %39 film ve %9 fragmandır. İstasyon 5'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.24'da verilmiştir.



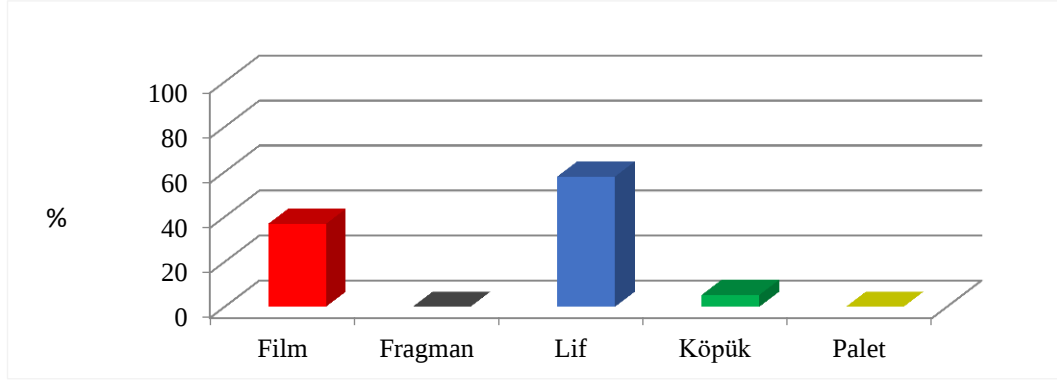
Şekil 4.24. İstasyon 5'ten alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları

İstasyon 5'ten alınan kum numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde en yaygın gözlemlenen mikroplastik tipi, %60 ile lif parçalardır. Ardından gözlemlenen diğer tipler ise, %20 film, %11 fragman ve %9 pelettir. İstasyon 5'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.25'da verilmiştir.



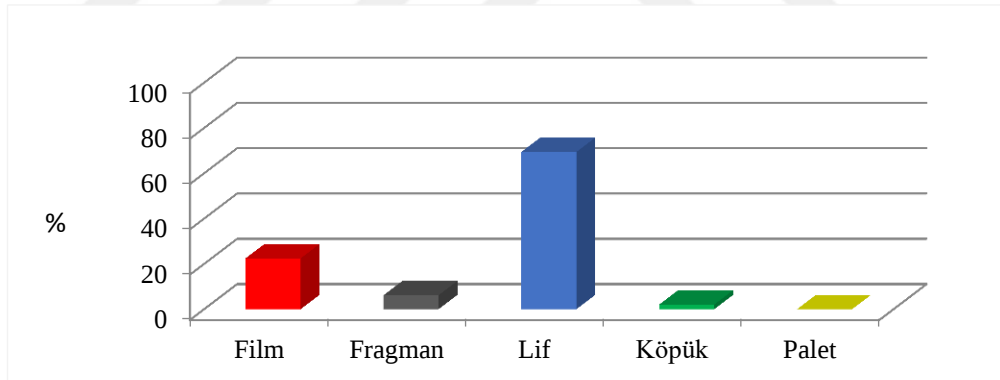
Şekil 4.25. İstasyon 5'ten alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları

İstasyon 6'dan alınan deniz suyu numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerde en yaygın gözlemlenen mikroplastikler %58 ile lif parçalardır. Ardından gözlemlenen diğer tipler ise, %37 film ve %5 ile köpüktür. İstasyon 6'dan alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.26'da verilmiştir.



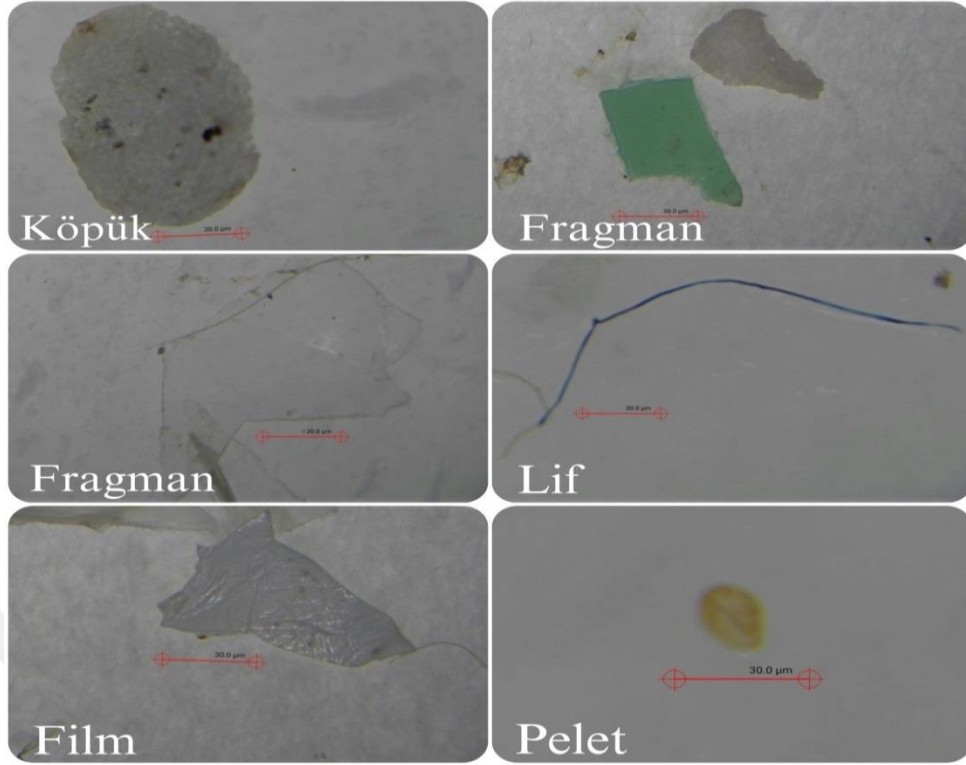
Şekil 4.26. İstasyon 6'dan alınan deniz suyu numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları

İstasyon 6'dan alınan kum numunelerinde ise tespit edilen mikroplastiklerde en yaygın gözlemlenen mikroplastikler %69 ile lif parçalardır. Ardından gözlemlenen diğer tipler ise, %22 film, %6 fragman ve %2 köpüktür. İstasyon 6'dan alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27. İstasyon 6'dan alınan kum numunelerindeki mikroplastiklerin tiplerine göre dağılımları

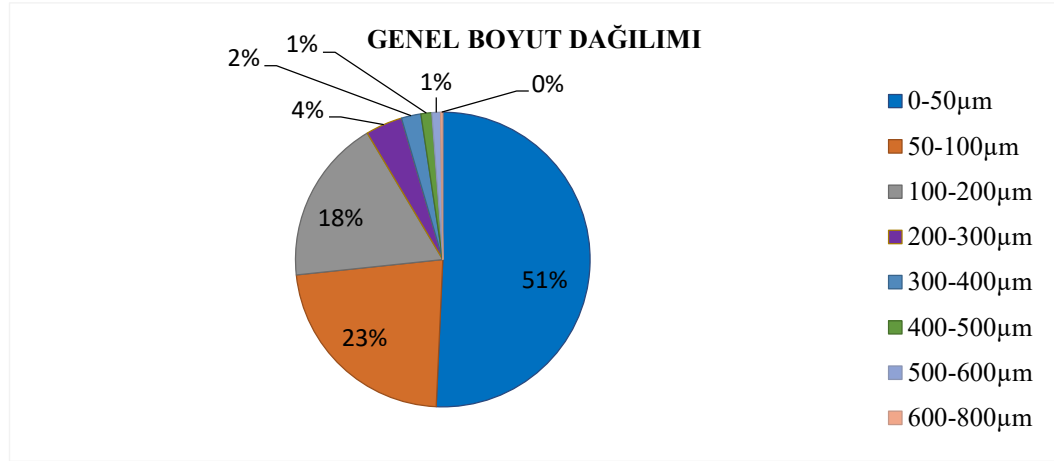
Çalışmada rastlanılan yaygın köpük, fragman, lif, film ve pelet tipleri Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.28. Yaygın mikroplastik tipleri

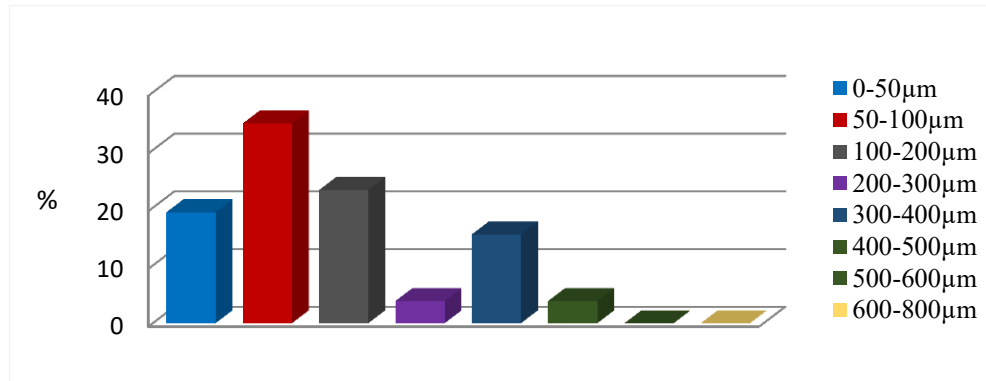
4.3. Boyut Analizi

Çalışma kapsamında 6 farklı istasyondan alınan örnekler üzerinde mikroplastiklerin boyut analizi gerçekleştirilerek gruplandırılmıştır. Analiz 50 µm -800 µm aralığında sekiz gruba ayrılarak yapılmıştır. Boyut analizine göre en yaygın olarak %50.71 mikroplastığın 0-50µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla %22,61'i 50-100 µm, %18,09'u 100-200 µm, %4,04'ü 200-300 µm, %2,14'ü 300-400 µm, %1,19'u 400-500 µm, %0,95'i 500-600 µm ve %0,23'ü 600-800 µm boyutları izlemektedir. Genel boyutlarına göre mikroplastik dağılımları Şekil 4.29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Boyutlarına göre mikroplastik dağılımları (%)

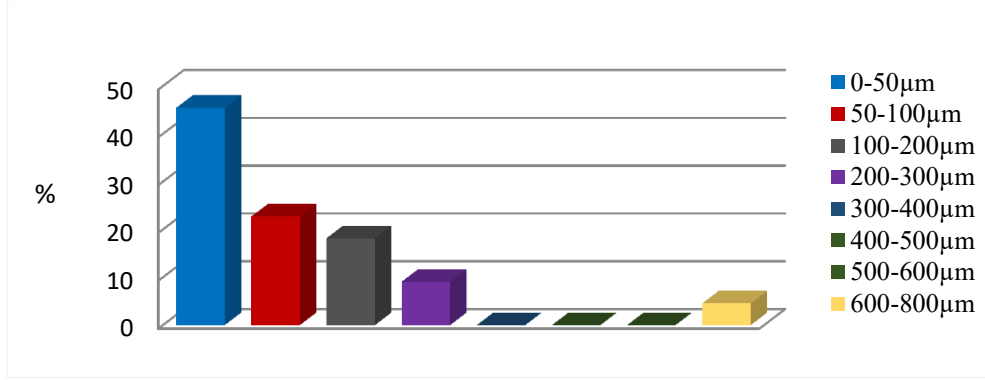
Tespit edilen mikroplastiklerin boyutları analizini istasyonlara göre daha detaylı incelediğimizde; İstasyon 1'den alınan deniz suyu numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde en yaygın olarak %34,61 mikroplastığın 50-100µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla %23,07 ile 100-200 µm, %19,23 ile 0-50 µm, %15,38 ile 300-400 µm, %3,84 ile 200-300 µm ve ayrıca %3,84 ile 400-500 µm boyutlarındaki mikroplastikler takip etmiştir. İstasyon 1'deki su örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.30'de gösterilmiştir.



Şekil 4.30. İstasyon 1'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

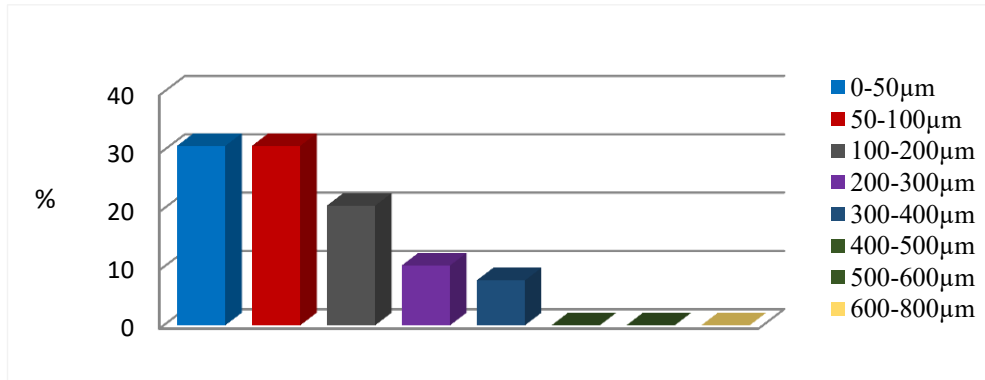
İstasyon 1'den alınan kum numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan boyut analizi neticesinde en yaygın olarak %45,45'i 0-50µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla %22,72 ile 50-100 µm, adet %18,18 ile 100-200 µm, %9,09 ile 200-300 µm, ve %4,54 ile 600-800 µm boyutlarındaki

mikroplastikler takip etmiştir. İstasyon 1'deki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. İstasyon 1'deki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

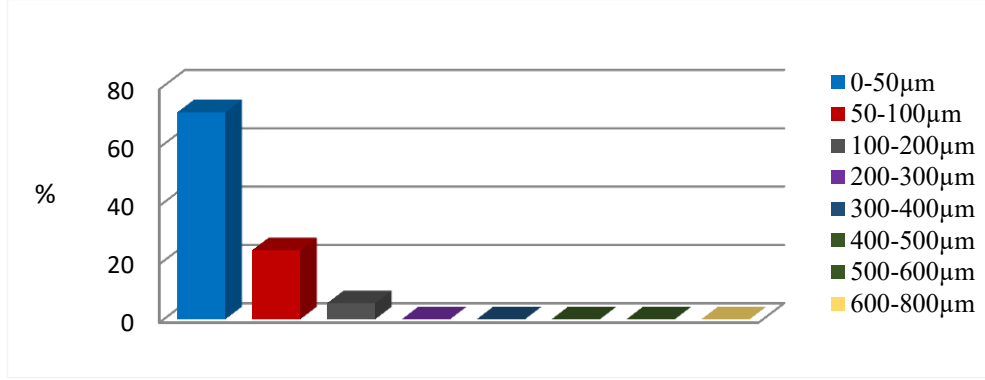
İstasyon 2'den alınan deniz suyu numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan analizler neticesinde en yaygın olarak %30,76'sı 0-50µm ve ayrıca %30,76'sı 50-100 µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla %20,51 ile 100-200 µm, %10,25 ile 200-300 µm ve %7,69 ile 300-400 µm boyutlarındaki mikroplastikler takip etmiştir. İstasyon 2'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



Şekil 4.32. İstasyon 2'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

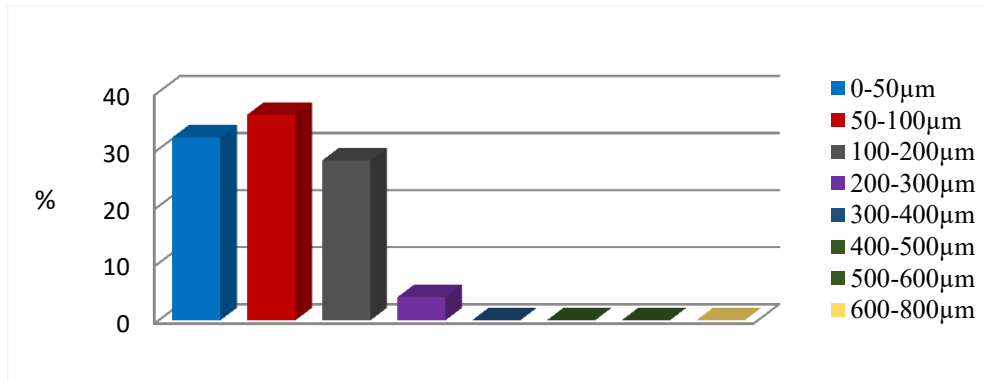
İstasyon 2'den alınan kum numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan analizler neticesinde en yaygın olarak %70,90'ı 0-50µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla %23,63 ile 50-100 µm ve %5,45 ile 100-200

μm boyutlarındaki mikroplastikler takip etmiştir. İstasyon 2'deki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33. İstasyon 2'deki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

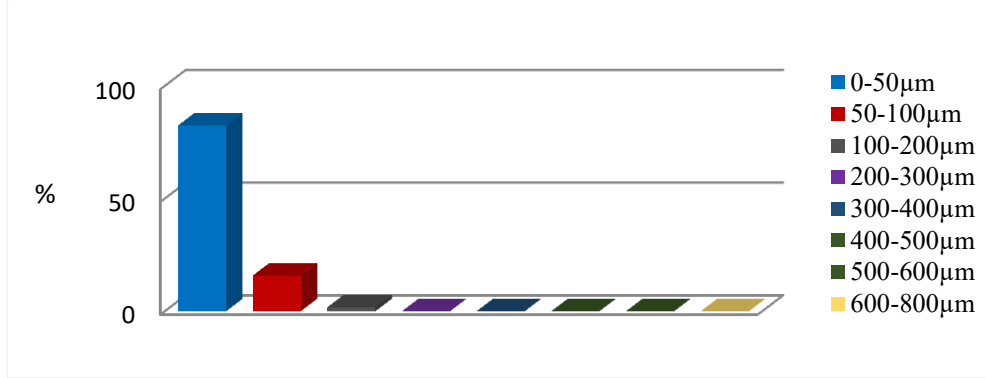
İstasyon 3'ten alınan deniz suyu numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan analizler neticesinde en yaygın olarak %36'sı 50-100 μm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla %32 ile 0-50 μm , %28 ile 100-200 μm ve %4 ile 200-300 μm boyutlarındaki mikroplastikler takip etmiştir. İstasyon 3'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.34'te gösterilmiştir.



Şekil 4.34. İstasyon 3'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

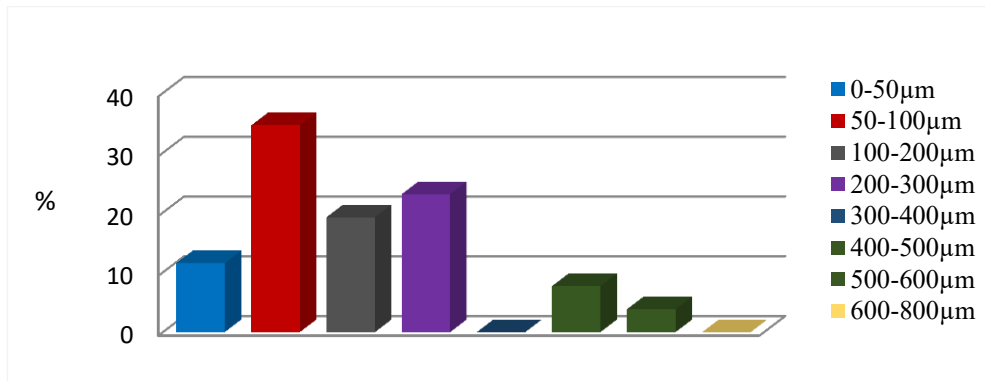
İstasyon 3'ten alınan kum numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan analizler neticesinde en yaygın olarak %82,4'i 0-50 μm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu 15,78 ile 50-100 μm ve %1,75 ile 100-200 μm

boyutlarındaki mikroplastikler izlemiştir. İstasyon 3'teki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.35'te gösterilmiştir.



Şekil 4.35. İstasyon 3'teki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

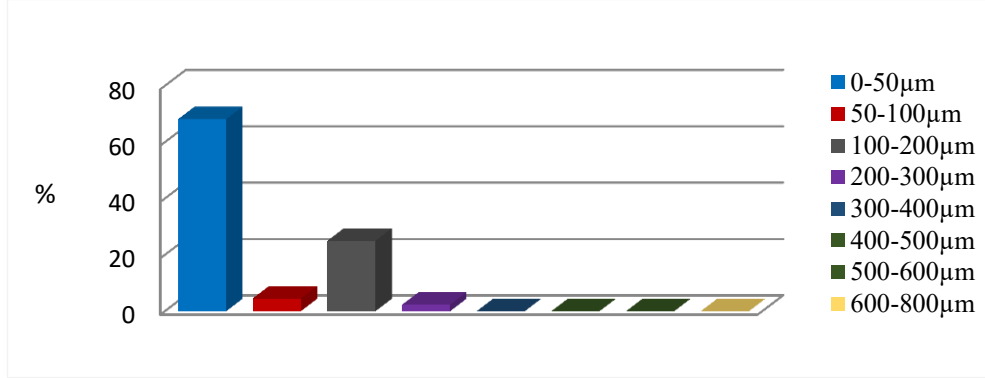
İstasyon 4'den alınan deniz suyu numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan analizler neticesinde en yaygın olarak %34,61'i 50-100 µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu %23,07 ile 200-300µm, %19,23 ile 100-200µm, %11,53 ile 0-50µm, %7,69 ile 400-500µm ve %3,84 ile 500-600µm boyutlarındaki mikroplastikler izlemiştir. İstasyon 4'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36. İstasyon 4'deki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

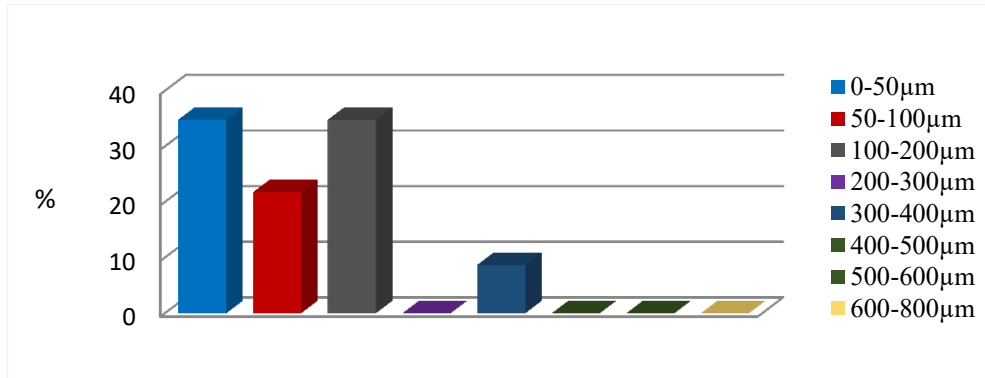
İstasyon 4'den alınan kum numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan analizler neticesinde en yaygın olarak %68,18'i 0-50 µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu %25 ile 100-200µm, %4,54 ile 50-100µm ve %2,27 ile 200-3000µm boyutlarındaki mikroplastikler izlemiştir. İstasyon 4'deki kum

örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.37’de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. İstasyon 4'deki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

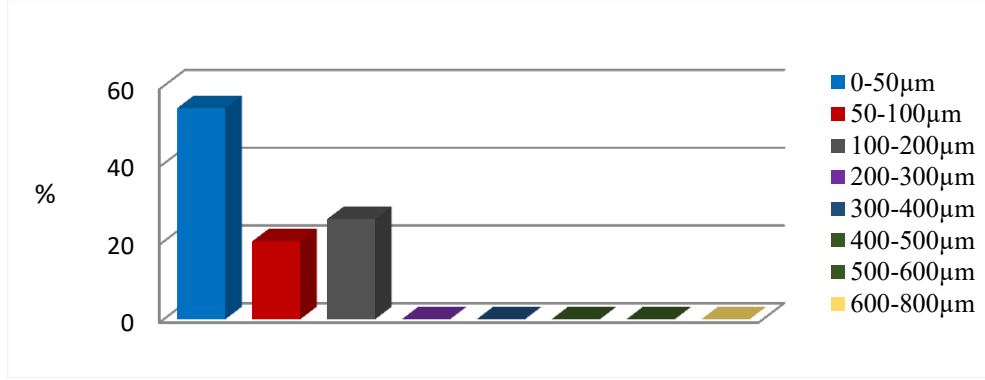
İstasyon 5'ten alınan deniz suyu numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan analizler neticesinde en yaygın olarak %34,78'i 0-50µm ve ayrıca %34,78'i 100-200µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunları %21,73 ile 50-100µm ve %8,69 ile 300-400µm boyutlarındaki mikroplastikler izlemiştir. İstasyon 5'teki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.38’de gösterilmiştir.



Şekil 4.38. İstasyon 5'teki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

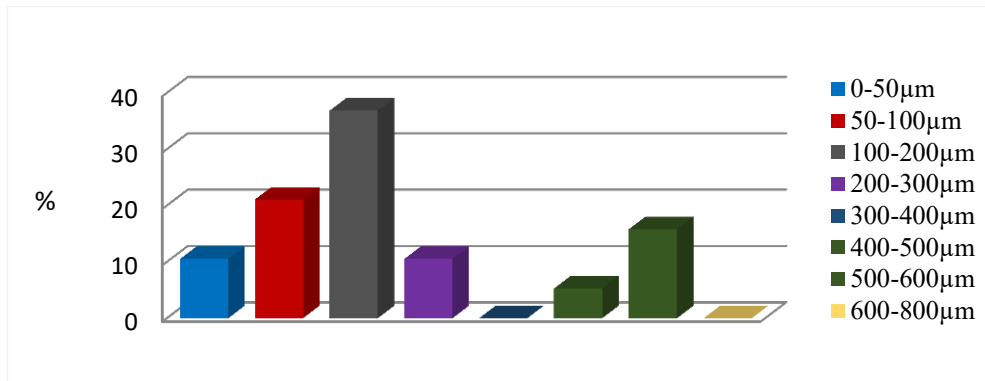
İstasyon 5'ten alınan kum numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan analizler neticesinde en yaygın olarak %54,28'i 0-50 µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu %25,71 ile 100-200µm ve %20 ile 50-100µm

boyutlarındaki mikroplastikler izlemiştir. İstasyon 5'teki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.39'da gösterilmiştir.



Şekil 4.39. İstasyon 5'teki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

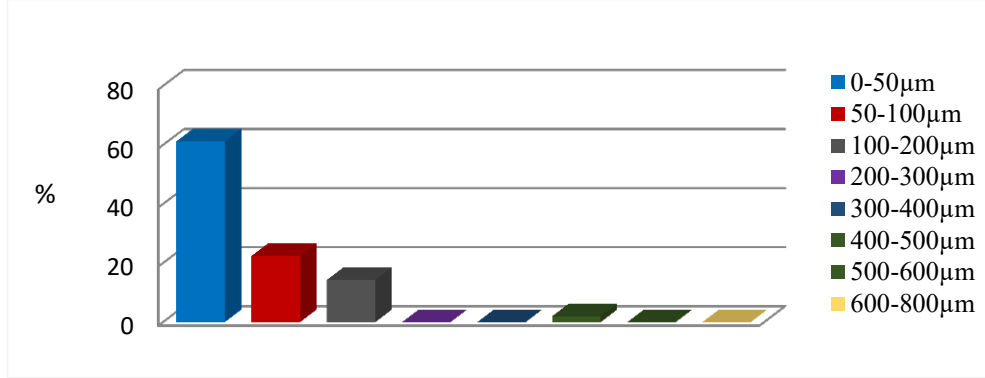
İstasyon 6'dan alınan deniz suyu numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan analizler neticesinde en yaygın olarak %36,84'ü 100-200 µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu %21,05 ile 50-100µm, %15,78 ile 500-600µm, %10,52 ile 0-50µm, %10,52 ile 200-300µm ve %5,26 ile 400-500µm boyutlarındaki mikroplastikler izlemiştir. İstasyon 6'daki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.40'ta gösterilmiştir.



Şekil 4.40. İstasyon 6'daki deniz suyu örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

İstasyon 6'dan alınan kum numunelerinden tespit edilen mikroplastik örneklerinde yapılan analizler neticesinde en yaygın olarak %61,22'si 0-50 µm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu %23,44 ile 50-100µm, %14,28 ile 100-200µm ve %2,04 ile 400-500µm boyutlarındaki mikroplastikler izlemiştir. İstasyon 6'daki kum

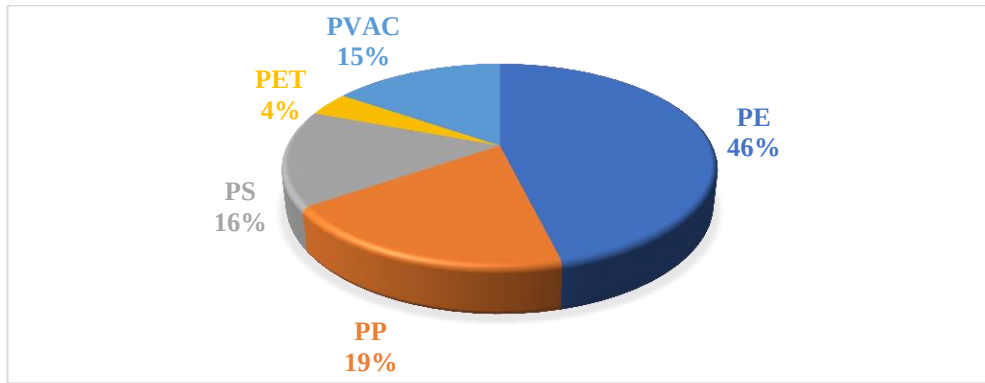
örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi Şekil 4.41’de gösterilmiştir.



Şekil 4.41. İstasyon 6’daki kum örneklerindeki mikroplastik dağılımı boyutlarına göre yüzdesi

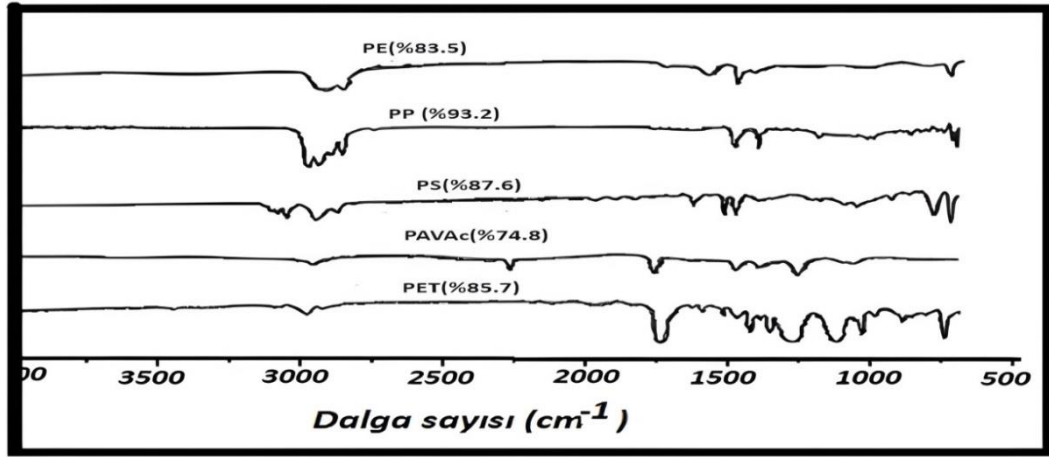
4.4. FT-IR Analizi

Analiz sonuçlarına göre, altı istasyondan alınan kum ve deniz suyu numunelerinden tespit edilen mikroplastikleri türüne göre incelendiğinde en yaygın mikroplastik türü olarak %46 ile polietilen tespit edilmiştir. Ayrıca polietileni sırayla, Polipropilen %19 ile, Polistren %16 ile, Polivinil Asetat %15 ve Polietilen Tereftalat %4 ile takip etmektedir. Mikroplastiklerin türüne göre dağılımları genel Şekil 4.42’de verilmiştir.



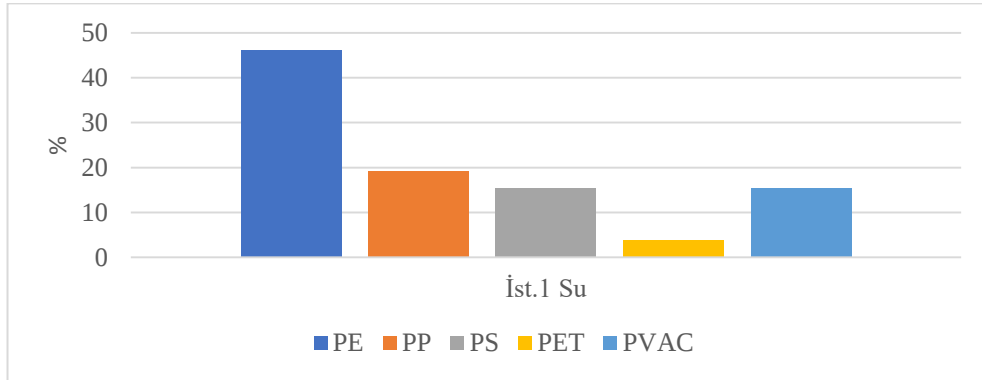
Şekil 4.42. Mikroplastiklerin türüne göre genel dağılımları

Ordu İli sahillerinden alınan deniz suyu ve kum numunelerinde tespit edilen mikroplastiklerin FTIR spektrumları Şekil 4.43’te verilmiştir.



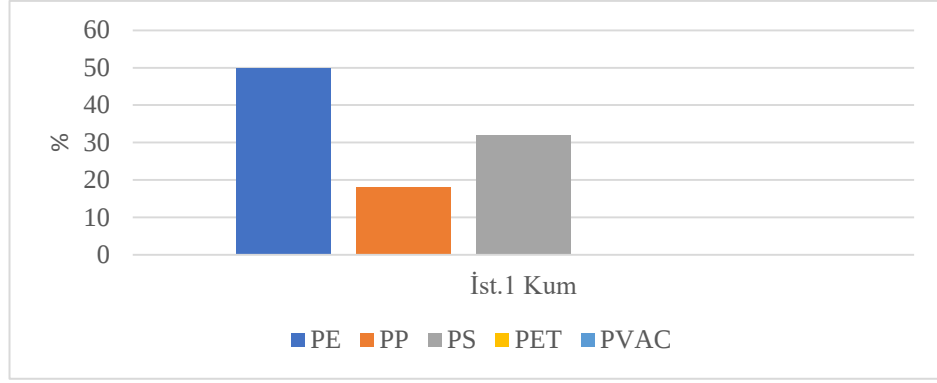
Şekil 4.43. Ordu İli sahillerinde bulunan mikroplastiklerin FTIR spektrumları (Parantez içindeki değerler, her polimer için standart spektrum ile olan ortalama eşleşme oranını göstermektedir: PE (polietilen), PP (polipropilen), PS (polistiren), PVA (polivinil asetat) ve PET (polietilen tereftalat))

İstasyon 1'den alınan deniz suyu örneğinde en yüksek miktarda, %46,2 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %19,23 Polipropilen, %15,38 Polistiren ve %15,38 Polivinil Asetat ayrıca %3,84 ile Polietilen Tereftalat takip etmektedir. Şekil 4.44'te İstasyon 1 deniz suyu numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımları verilmiştir.



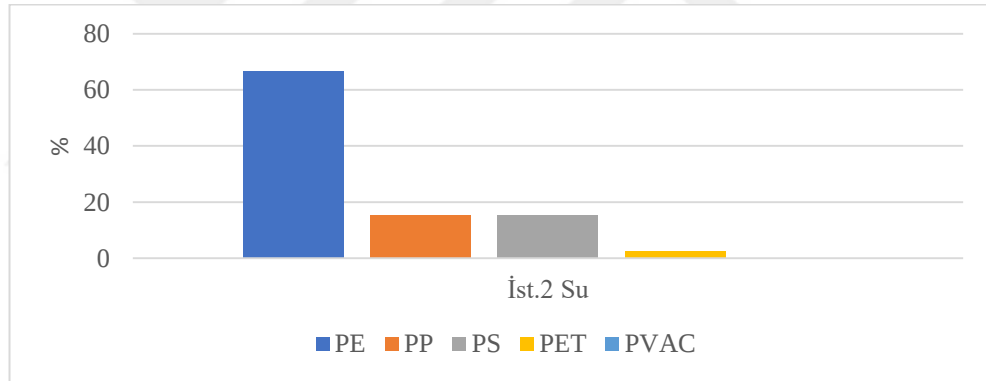
Şekil 4.44. İst.1 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları

İstasyon 1'den alınan kum örneğinde en yüksek miktarda, %50 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %31,81 Polistiren ve %18,18 Polipropilen takip etmektedir. Şekil 4.45'te İstasyon 1 kum numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımları verilmiştir.



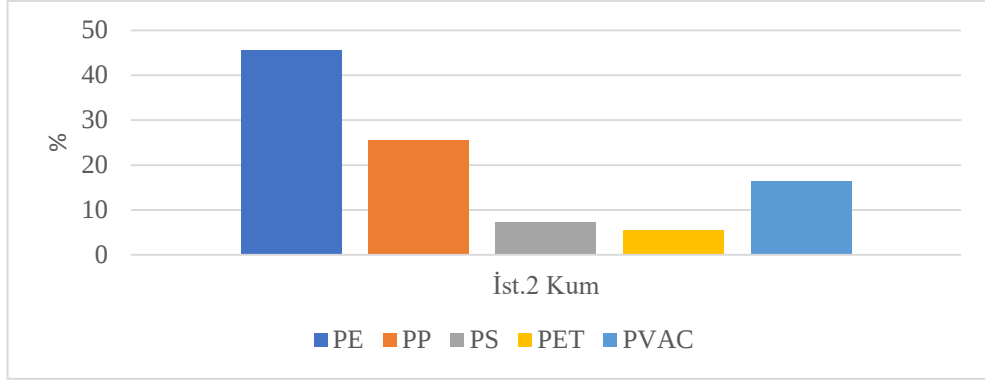
Şekil 4.45. İst.1 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları

İstasyon 2'den alınan deniz suyu örneğinde en yüksek miktarda, %66,66 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %15,38 Polipropilen ve %15,38 Polistiren ayrıca %2,56 ile Polietilen Tereftalat takip etmektedir. Şekil 4.46'da İstasyon 2 deniz suyu numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımları verilmiştir.



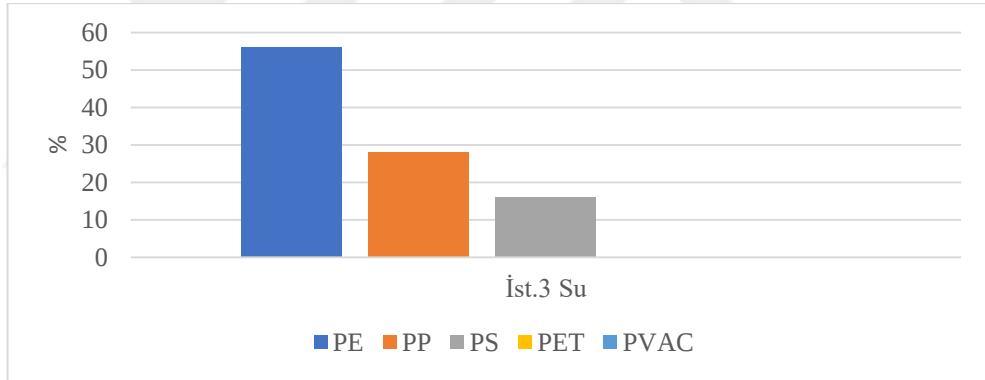
Şekil 4.46. İst.2 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları

İstasyon 2'den alınan kum örneğinde en yüksek miktarda, %45,4 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %25,45 Polipropilen, %16,36 Polivinil Asetat, %7,27 Polistren ve %5,4 Polietilen Tereftalat takip etmektedir. Şekil 4.47'de İstasyon 2 kum numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımları verilmiştir.



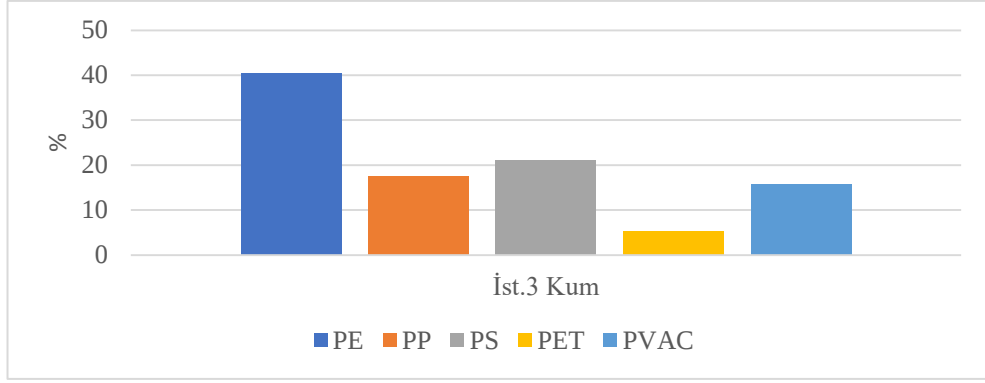
Şekil 4.47. İst.2 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları

İstasyon 3'ten alınan deniz suyu örneğinde en yüksek miktarda, %56 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %28 Polipropilen, %16 Polistiren takip etmektedir. Şekil 4.48'de İstasyon 3 deniz suyu numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımları verilmiştir.



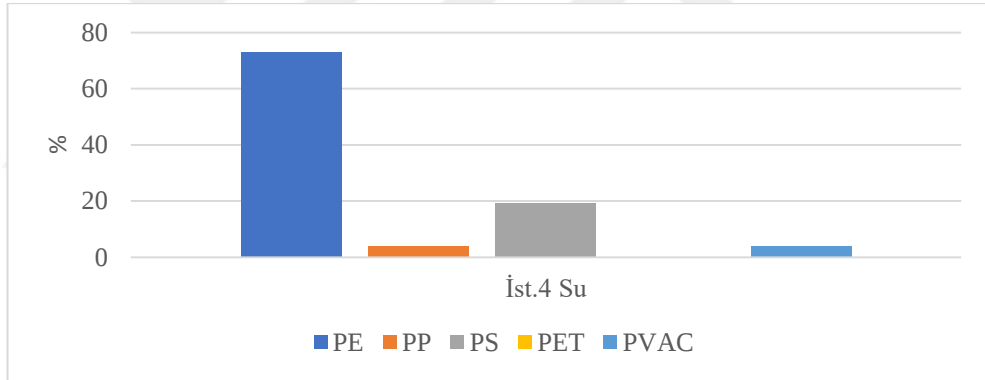
Şekil 4.48. İst.3 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları

İstasyon 3'ten alınan kum örneğinde en yüksek miktarda, %40,35 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %21,05 Polistren, %17,54 Polipropilen, %15,78 Polivinil Asetat, ve %5,26 Polietilen Tereftalat takip etmektedir. Şekil 4.49'da İstasyon 3 kum numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımları verilmiştir.



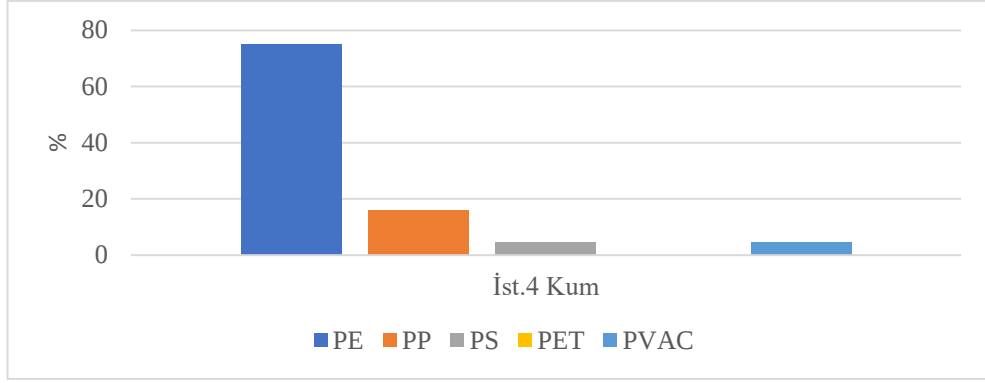
Şekil 4.49. İst.3 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları

İstasyon 4'ten alınan deniz suyu örneğinde en yüksek miktarda, %73,07 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %19,23 Polistren, %3,84 Polipropilen ve %3,84 Polivinil Asetat takip etmektedir. Şekil 4.50'de İstasyon 4 deniz suyu numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımları verilmiştir.



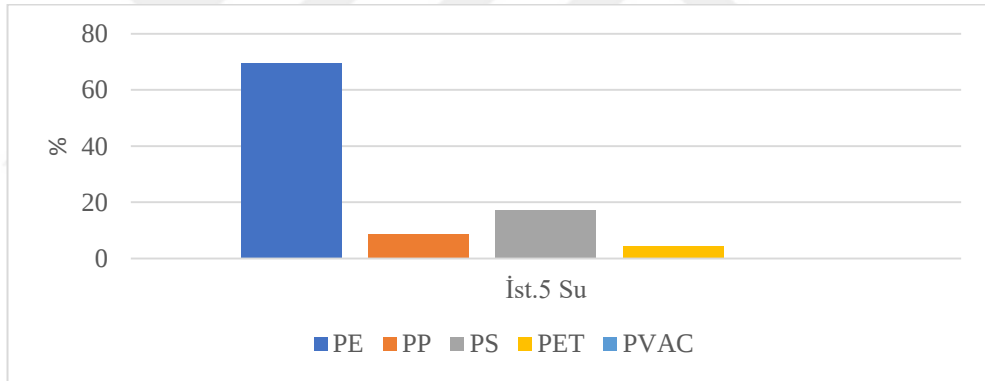
Şekil 4.50. İst.4 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları

İstasyon 4'ten alınan kum örneğinde en yüksek miktarda %75 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %15,90 Polipropilen, %4,54 Polistren ve %4,54 Polivinil Asetat takip etmektedir. Şekil 4.51'de İstasyon 4 kum numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımları verilmiştir.



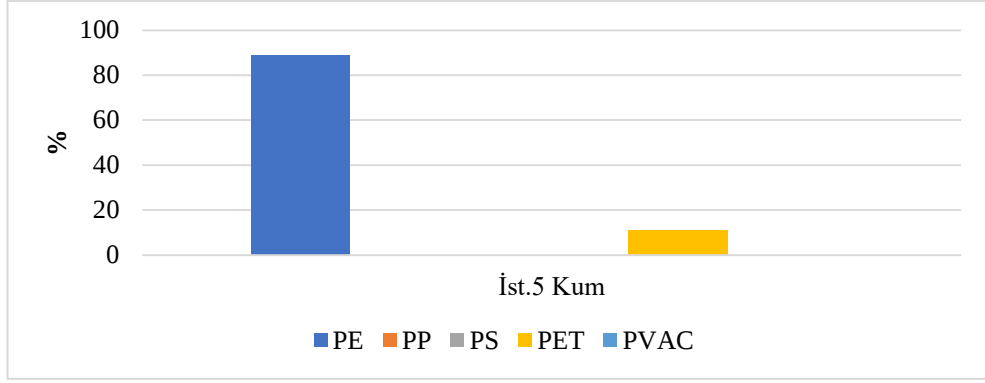
Şekil 4.51. İst.4 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları

İstasyon 5'ten alınan deniz suyu örneğinde en yüksek miktarda, %69,56 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %17,39 Polistren, %8,69 Polipropilen ve %4,34 Polietilen Tereftalat takip etmektedir. Şekil 4.52'de İstasyon 5 deniz suyu numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımlar verilmiştir.



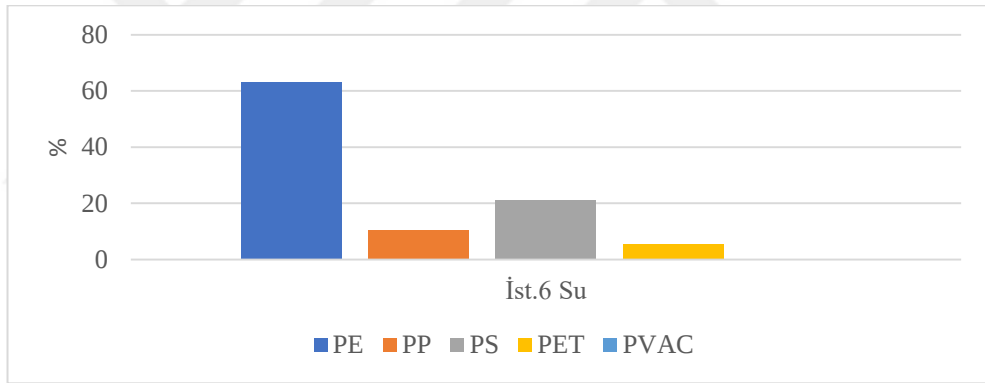
Şekil 4.52. İst.5 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları

İstasyon 5'ten alınan kum örneğinde en yüksek miktarda %88,89 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu %11,11 ile Polietilen Tereftalat takip etmektedir. Şekil 4.53'de İstasyon 5 kum numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımlar verilmiştir.



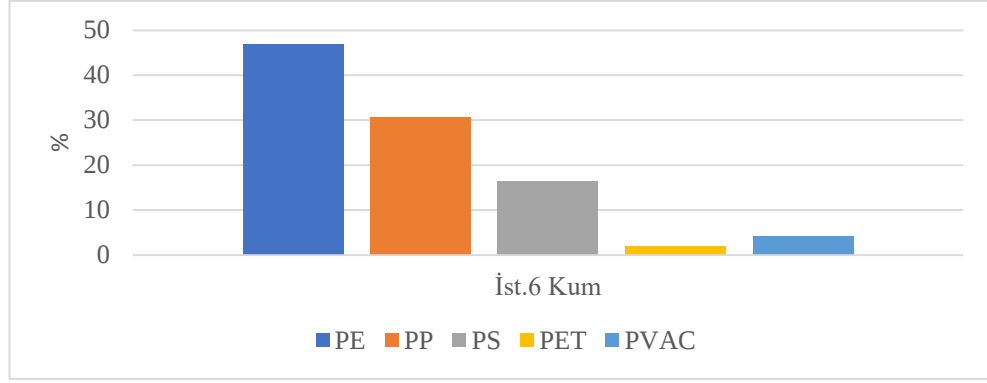
Şekil 4.53. İst.5 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları

İstasyon 6'dan alınan deniz suyu örneğinde en yüksek miktarda, %65,15 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %21,05 Polistren, %10,52 Polipropilen ve %5,26 Polietilen Tereftalat takip etmektedir. Şekil 4.54'te İstasyon 6 deniz suyu numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımlar verilmiştir.



Şekil 4.54. İst.6 deniz suyu mikroplastikleri polimer türleri dağılımları

İstasyon 6'dan alınan kum örneğinde en yüksek miktarda, %46,93 ile Polietilen polimerine rastlanmıştır, bunu sırasıyla %30,61 Polipropilen, %16,32 Polistren, %4,08 Polivinil Asetat, ve %2,04 Polietilen Tereftalat takip etmektedir. Şekil 4.55'te İstasyon 6 kum numunesindeki mikroplastiklerin polimer türlerine göre dağılımları verilmiştir.



Şekil 4.55. İst.6 kumdaki mikroplastiklerin polimer türleri dağılımları

4.5. Mikroplastiklerin Potansiyel Sağlık Etkileri

Lithner ve arkadaşları (2011) ile Ranjani ve ekibinin (2021) PHI (Potansiyel Sağlık İndeksi) çalışmaları baz alınarak, bu çalışmada hesaplanan PHI (Potansiyel Sağlık İndeksi) III (Yüksek) ve IV (Tehlike) hasar ve risk kategorileri grubuna girdiği sonucuna ulaşıldı (Tablo 4.1). Mikroplastiklerin deniz suyu ve kum için ayrıntılı potansiyel ekolojik risk sonuçları ise Tablo 4.2 ve Tablo 4.3’de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Mikroplastiklerin Potansiyel Sağlık Etkisi (Toplam örnekleme)

Toplam Örnekleme Polimerleri	Oran (%)	Tehlike puanı*	PHI**	Tehlike kategorisi**	Risk Kategorisi**
PE	60,10	11	661	Tehlike	IV
PP	16,12	1	16	Yüksek	III
PS	15,45	30	463	Tehlike	IV
PET	3,32	4	13	Yüksek	III
PVAC	5,00	10,551	52	Yüksek	III

Lithner ve ark. (2011), **Ranjani ve ark. (2021)

Tablo 4.2. Mikroplastiklerin Potansiyel Sağlık Etkileri (Deniz suyu)

Deniz Suyu Polimerleri	Oran (%)	Tehlike puanı*	PHI**	Tehlike kategorisi**	Risk Kategorisi**
PE	62,44	11	687	Tehlike	IV
PP	14,28	1	14	Yüksek	III
PS	17,41	30	522	Tehlike	IV
PET	2,67	4	11	Yüksek	III
PVAC	3,21	10,551	34	Yüksek	III

* Lithner ve ark. (2011), **Ranjani ve ark. (2021)

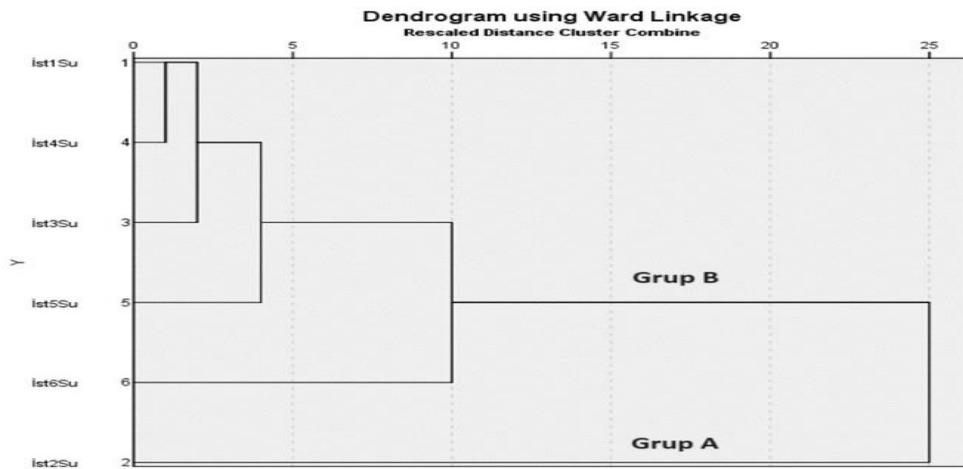
Tablo 4.3. Mikroplastiklerin Potansiyel Sağlık Etkileri (Kum)

Sahil Kumu Polimerleri	Oran (%)	Tehlike puanı*	PHI**	Tehlike kategorisi**	Risk Kategorisi**
PE	58	11	635	Tehlike	IV
PP	18	1	18	Yüksek	III
PS	14	30	405	Tehlike	IV
PET	4	4	16	Yüksek	III
PVAC	7	10,551	72	Tehlike	IV

* Lithner ve ark. (2011), **Ranjani ve ark. (2021)

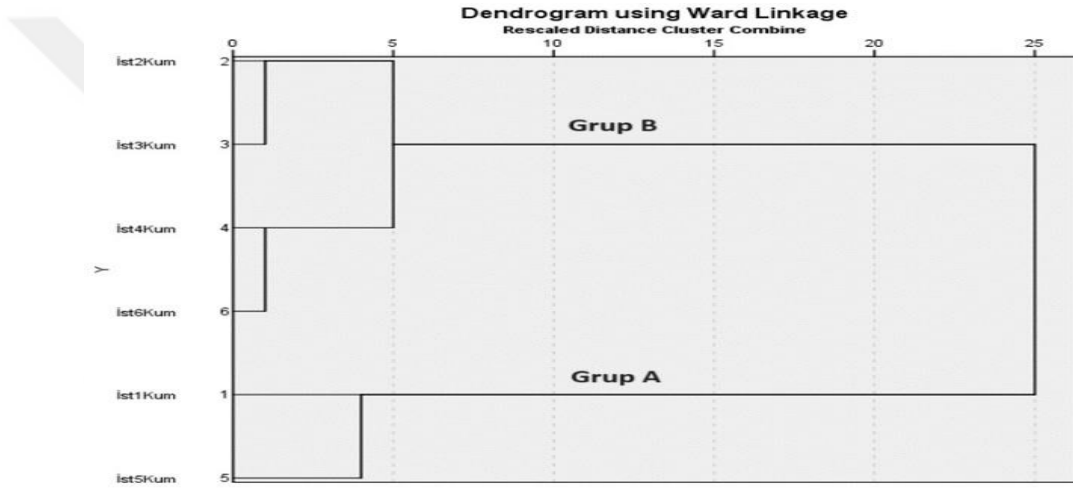
4.6. Hiyerarşik Kümeleme Analizi (HCA)

Bu çalışma verilerine HCA testi uygulanarak istasyonların mikroplastik yoğunlukları arasındaki benzerlik veya farklılıkların net bir şekilde belirlenmesi sağlanmıştır. Ordu ili sahil deniz sularının alındığı istasyonlarda elde edilen mikroplastik miktarlarına dayanarak yapılan analiz sonunda istasyonlarda temelde iki grup oluşmuştur (Şekil 4.56). Grup A'yı oluşturan İstasyon 2 yakınlarında sanayi bölgesinin olması, ırmak çıkışının bu sahile yakın oluşu ve arıtma tesisine yakın olmasına rağmen diğer istasyonlardan mikroplastik yükü daha fazla olmasıyla ayrı olarak tespit edilmiştir. Grup B ise istasyon 2 haricindeki diğer istasyonlardan oluşmaktadır (İstasyon 6,5,4,3 ve 1). İstasyon 6 diğerlerinden daha farklıdır bu fark ise yakınlarda arıtma tesisinin olması, İlçe merkezine yakınlığı ve çok yakınında denize derenin ulaşmasıdır.



Şekil 4.56. Deniz suyunda mikroplastik HCA Analizi

Ordu ili sahil deniz kumunun alındığı istasyonlarda elde edilen Mikroplastik miktarlarına dayanarak yapılan analiz sonunda istasyonlarda da iki Gurup oluşmuştur (Şekil 4.57). Grup A, Grup B'ye göre daha benzer bulunmuştur. Grup A, istasyon 1 ve 5 'den oluşmaktadır. Bu grubu yerleşim yerine uzaklıkları ve insan nüfusu bakımından çok yoğun olmayan bölgede olmalarından dolayı mikroplastik yükleri açısından benzerlik, yüklerine kaynak oluşturmaktadır. Grup B'nin diğer üyelerinin mikroplastik yük kaynakları (Dere vb.) benzer olduğu için bu grup üyeleri arasındaki benzerlikleri yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.57. Kumda mikroplastik HCA Analizi

4.7. Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA)

Tüm İstasyonlar arasında MP'lerin büyüklüğü açısından anlamlı bir fark bulunmamıştır (tek yönlü ANOVA; $P > 0,05$). Bununla birlikte, beyaz (tek yönlü ANOVA; $P = 0,219$) ve siyah (tek yönlü ANOVA; $P=0,035$) renkleri için istasyonlar arasında anlamlı bir fark gözlenirken, diğer renkler için istatistiki açıdan anlamlı bir fark bulunmamıştır. MP yapılarının şekli ile ilgili olarak, Pelet (tek yönlü ANOVA; $P=0,068$) dışında tüm çeşitler için istatistiki açıdan anlamlı fark tespit edilmiştir. Polimer türleri arasında PE (tek yönlü ANOVA; $P=0,000$) haricinde tüm MP çeşitleri

için istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (tek yönlü ANOVA; $P > 0.05$) (Akbulut,2022).

Su numunelerinde tespit edilen MP renkleri arasında kırmızı (tek yönlü ANOVA; $P=0.013$), Mavi (tek yönlü ANOVA; $P=0,001$) ve şeffaf (tek yönlü ANOVA; $P=0,001$) istatistiki açıdan anlamlı fark bulunmuş iken diğer renklerde anlamlı fark tespit edilmemiştir. Suda MP yapılarının şekilleri arasında, Köpük (tek yönlü ANOVA; $P=0,562$) dışında tüm çeşitler için istatistiki açıdan anlamlı fark tespit edilmiştir (tek yönlü ANOVA; $P < 0,05$). Deniz suyu Polimer türleri arasında PVAc (tek yönlü ANOVA; $P= 0.05$) dışında tüm MP çeşitleri için istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (tek yönlü ANOVA; $P > 0.05$).

Kum numunelerinde tespit edilen MP renkleri arasında kırmızı (tek yönlü ANOVA; $P=0.039$), ve şeffaf (tek yönlü ANOVA; $P=0,001$) istatistiki açıdan anlamlı bulunmuş iken diğer renklerde anlamlı fark tespit edilmemiştir. Kumda MP yapılarının şekilleri arasında, film (tek yönlü ANOVA; $P=0,002$), lif (tek yönlü ANOVA; $P=0,000$) ve köpük (tek yönlü ANOVA; $P=0,000$) çeşitlerinde anlamlı farklılıklar tespit edilirken diğerlerinde yoktur. Sahil kumları Polimer türleri arasında PE (tek yönlü ANOVA; $P= 0.01$) ve PS (tek yönlü ANOVA; $P= 0.021$) dışında MP çeşitleri için istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (tek yönlü ANOVA; $P > 0.05$).

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırma, 4 Ağustos 2023 tarihinde Ordu ili Karadeniz sahili boyunca alınan kum ve deniz suyu numunelerinde mikroplastik profili detaylı bir şekilde incelenmiş ve bulunan mikroplastiklerin renk, şekil, boyut karakterizasyonları belirlenip; polimer türleri incelenmiştir. Tüm istasyonlardan alınan sediman örneklerinde 291,11 öge kg^{-1} ve su örneklerinde 0,263 öge L^{-1} mikroplastiklere rastlanmıştır.

Tüm istasyonlardan alınan örnekler 50 μm -800 μm aralığında sekiz gruba ayrılarak boyut analizi yapılmıştır. Sonuç olarak, %50,71'inin 0-50 μm boyut aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bunu sırasıyla %22,61'i 50-100 μm , %18,09'u 100-200 μm , %4,04'ü 200-300 μm , %2,14'ü 300-400 μm , %1,19'u 400-500 μm , %0,95'i 500-600 μm ve %0,23'ü 600-800 μm boyutları izlemiştir. Benzer şekilde baskın boyut sonuçları Zhu ve ark., (2018) Kuzey Sarı Denizde Toplam mikroplastik sayısının %70'den fazlasını 1 mm'den küçük mikroplastikler oluşturduğunu, Jiang ve ark., (2020) Güney Sarı Denizde toplam mikroplastiklerin %78' inin 500 μm 'den küçük olduğunu belirtmişlerdir. Dutta ve ark. (2022) Mumbai, Hindistan sahillerinde çoğunlukla 500 μm 'den küçük mikroplastiklere rastlamışlardır. Liu B. ve ark. (2023) Güney Çin Denizindeki mikroplastiklerin %47,7' u 100–500 μm boyut aralığında tespit edilmiş olup; 30 μm boyutundan küçük mikroplastiklere rastlamamışlar. Ancak yapılan çalışmanın aksine; bu çalışmada 30 μm boyutundan küçük mikroplastiklere rastlanmış olup; 0,8mm'den büyük mikroplastiklere rastlanmamıştır.

Araştırma süresince alınan numunelerde tespit edilen mikroplastiklerin renk analizi sonuçlarına göre, kırmızı, yeşil, mavi, siyah ve şeffaf olmak üzere toplamda 6 farklı renk belirlenmiştir. En sık rastlanan renk, %32 ile mavi olarak kaydedilmiştir. Bunları sırasıyla, %29 saydam, %23 siyah, %11 kırmızı, %4 yeşil ve %1 ile beyaz renkler takip etmiştir. Baskın renk sonuçları Young ve arkadaşlarının (2016) Kamilo

Plajı ve Kahuku Plajı, Zhu ve arkadaşlarının (2018) Kuzey Sarı Denizde, Liu B. ve ark., (2023) Güney Çin Denizinde ve yine Sönmez ve ark., (2023) Türkiye'deki Marmara Denizinde yaptıkları çalışmalarla benzer şekilde çoğunlukla şeffaf renklere mikropplastiklere rastlamışlardır.

Tüm istasyonlardan alınan örneklerde tespit edilen mikropplastikler tiplerine göre film, fragman, lif, köpük, ve pellet olarak beş farklı kategoride gruplandırılmıştır. Elde edilen verilere göre, toplamda %58,33 olarak en yaygın oranda lifler tespit edilmiştir. Bu tespitlere göre, liflerin ardından en sık rastlanan mikropplastikler sırasıyla %21,43 film, %9,76 fragman, %8,80 plastik parçası ve %1,66 pelet'tir. Baskın mikropplastik tip sonuçları Zhao ve ark., (2014) Doğu Çin Denizinde, Castillo ve ark. (2016), Katar deniz sularında, Zhu ve ark. (2018) Kuzey Sarı Deniz'deki, Terzi ve ark. (2022) Güney Karadeniz'deki, Şener ve Yabancı (2023) Güney Ege Denizindeki, Sönmez ve ark. (2023) Marmara Denizindeki çalışmalarda da çoğunlukla liflere rastlanması bakımından benzerlik göstermiştir.

Tüm istasyonlarda en yaygın olarak %46 ile polietilen mikropplastiklere rastlanmıştır. Ayrıca polietileni sırayla, Polipropilen %19 ile, Polistren %16 ile, Polivinil Asetat %15 ve Polietilen Tereftalat %4 ile takip etmektedir. Çalışma , Veerasingam ve ark. (2016) Hindistan'ın Goa kıyısında, Young ve ark., (2016) Kamilo Plajı ve Kahuku Plajında, Sun ve ark., (2018) Sarı Deniz'de, Şener ve Yabancı (2023) Güney Ege Denizi (Türkiye), Sönmez ve ark., (2023) Marmara Denizi Kıyılarında, Gedik ve ark., (2022) Kuzeydoğu Akdeniz kıyılarında yapılan çalışmaları neticesinde bu çalışma ile benzer şekilde baskın olarak polietilen türüne rastlamışlardır.

Sahilden alınan kum numunelerinde tespit edilen mikropplastik miktarı deniz suyundan alınan numunelere göre daha fazla mikropplastik tespit edilmiştir. Bu çalışmada istasyonlar seçilirken, kentsel atıksu arıtma tesislerine yakınlık, dere deşarj noktalarına yakınlık, nüfus yoğunluğunun en çok olduğu bölgeler, liman ve sanayi tesisleri yakınlarındaki bölgelere göre seçim yapılmıştır. Ayrıca örnekleme günü yaz aylarının en sıcak günlerinden ve hava hareketlerinin ve dalganın az olduğu gün belirlenmiştir.

Ordu İli kıyılarında deniz suyu ve kumunda , mikroplastik parçalarının lif çeşidi en yaygın olup, mavi ve saydam renkler yoğundur. Tüm parçalar 800µm'nin altında olmakla birlikte 0-50µm boyut aralığındaki mikroplastikler ağırlıktadır. Çalışmada polietilen türü mikroplastikler su ve kum örneklerinde baskındır.

Polietilenler (PE), paketlenme, mutfak ürünleri, oyuncak, tekstil alanlarında kullanılıp doğaya çoğunlukla beşeri faaliyetler sonucu salınmaktadırlar (Yurtsever, 2015). Çamaşır makinasında temizlenen battaniye, yorgan giysi gibi tekstil ürünleri, içerdikleri mikroplastik liflerle birlikte atık su sistemine ulaşmaktadırlar. Polietilenlerin yoğunlukları sudan düşük olduğundan klasik AAT'lerde hızlı karıştırma, yavaş karıştırma, cöktürme işlemlerinde koagülant dozu her ne kadar arttırılsa yüzeyde kalarak çok az miktarda giderim elde edilebilmekte, çoğunluğu alıcı ortama deşarj edilmektedir (Berber ve Yurtsever, 2016).

Yapılan araştırmalarda gıda güvenliğiyle ilgili olarak, insanların deniz ve gıda ürünlerini tüketimi yoluyla mikroplastiklere maruz kalması sonucunda insan sağlığı üzerindeki etkileri aşağıda belirtilmektedir;

- a. Mikroplastiklerin üretiminde kullanılan katkı maddeleri ve plastiklerin bulunduğu ortamda üzerine biriken kirleticiler kimyasal toksisite oluşturabilmektedir.
- b. Mikroplastiklerin mikrobik kirlilik oluşturarak hastalıklara yol açabilmektedirler.
- c. Mikroplastik parçacıkların dokularda birikmesi ve kimyasal toksisite oluşturması halinde kümülatif zararlı etkiler ortaya çıkacağı düşünülmektedir. (Li ve ark., 2018)

Yang ve ark. (2023), UF membranının deniz suyunda polietilen mikroplastikleri tutma kapasitesini araştırmışlardır. mikroplastiklerin UF ile yüzey alanında tutulma oranı %98'in üzerine çıktığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca çalışmada ultrafiltrasyon (UF) membran biyoreaktörler ile çok yüksek verimde mikroplastik

arıtımı sağlandığından yerel yönetimlere arıtma tesislerine UF membran biyoreaktör kurmaları önerilmektedir.

Ayrıca, sahillerde mikroplastiklerin engellenmesi ve azaltılması için aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir:

Okullarda ve topluluk merkezlerinde mikroplastik kirliliği hakkında eğitim verilebilir,

- a. Sosyal medya, broşürler ve halk toplantıları aracılığıyla farkındalık kampanyaları düzenlenebilir,
- b. Plastik atıkların geri dönüşümü teşvik edilmelidir, düzenli olarak sahil temizliği etkinlikleri organize edilebilir,
- c. Sahillerde yeterli sayıda çöp kutusu ve geri dönüşüm kutusu bulundurulmalıdır,
- d. Tek kullanımlık plastik ürünlerin yerine yeniden kullanılabilir alternatifler teşvik edilmelidir,
- e. Belirli plastik ürünlerin kullanımı yasaklanabilir veya sınırlandırılabilir,
- f. Mikroplastik kirliliğini azaltmaya yönelik yasal düzenlemeler ve yaptırımlar uygulanmalıdır,
- g. Mikroplastiklerin etkilerini ve azaltma yöntemlerini araştırmak için daha fazla bilimsel çalışma yapılmalıdır,
- h. Mikroplastik kirliliğiyle mücadele eden gönüllü gruplar ve sivil toplum kuruluşları desteklenmelidir,
- i. Yerel halkın karar alma süreçlerine katılımı sağlanarak, sahillerin korunması için ortak çözümler üretilmelidir,
- j. Mikroplastik kirliliğine karşı uluslararası işbirlikleri ve projeler geliştirilebilir,
- k. Deniz ve kıyı yönetimi konusunda bölgesel ve küresel stratejiler oluşturulabilir.

Dünya sahillerde mikroplastik kirliliğinin engellenmesi ve azaltılması için bu öneriler uygulanabilir olduğunda geleceğimize mikroplastik kirliliğinin azaltılması konusunda çok önemli adımlar atılmış olacaktır.

KAYNAKÇA

- Abelouah, M. R., Ben-Haddad, M., Hajji, S., De-la-Torre, G. E., Aziz, T., Oualid, J. A., Banni, M., and Ait Alla, A. (2022). Floating microplastics pollution in the Central Atlantic Ocean of Morocco: Insights into the occurrence, characterization, and fate. *Marine Pollution Bulletin*, 182.
- Akbulut, O. (2022). Current approaches in reporting statistical significance in scientific research: Errors and truths. *International Journal of Eastern Mediterranean Agricultural Research*, 5(1).01-19
- Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., and Moeinpour, A. (2017). Microplastics and potentially toxic elements in coastal sediments of Iran's main oil terminal (Khark Island). *Environmental Pollution*, 220, 720-731.
- Akyüz, Ö. F. (1999). Plastikler ve plastik enjeksiyon teknolojisine giriş.
- Ali, S.S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E.A., Zhu, D., Sun, J., 2021. Degradation of conventional plastic wastes in the environment: a review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. *Sci. Total Environment*, 771, 144719.
- Amenabar, M., Aguilera, M. A., Gallardo, C., Moore, C., De Vine, R., Lattin, G., Gamba, A., Luna-Acosta, A., and Thiel, M. (2024). Spatial distribution of microplastics in a coastal upwelling region: Offshore dispersal from urban sources in the Humboldt Current System. *Environmental Pollution*, 343, 123157.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Anu Pavithran, V. (2021). Study on microplastic pollution in the coastal seawaters of selected regions along the northern coast of Kerala, southwest coast of India. *Journal of Sea Research*, 173, 102060
- Arthur, C., Baker, J., and Bamford, H. (2008). International research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris. *In Conference Proceedings*. Sept (9-11).
- Auta, H. S., Emenike, C. U., and Fauziah, S. H. (2017). Distribution and importance of MPs in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment international*, 102, 165-176.
- Avio, C. G., Gorbi, S., Milan, M., Benedetti, M., Fattorini, D., d'Errico, G., ... and Regoli, F. (2015). Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental pollution*, 198, 211-222.
- Barboza, L. G. A., Vieira, L. R., Branco, V., Carvalho, C., and Guilhermino, L. (2018). Microplastics increase mercury bioconcentration in gills and bioaccumulation in the liver, and cause oxidative stress and damage in *Dicentrarchus labrax* juveniles. *Scientific reports*, 8(1), 15655.

- Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., and Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 364 (1526), 1985-1998.
- Bayhan, B., and Uncumusaoglu, A. A. (2024). Abundance, characteristics, and potential ecological risks of microplastics in some commercial fish in İzmir Bay (Aegean Sea, Türkiye). *Regional Studies in Marine Science*, 73, 103488.
- Berber, A. A., ve Yurtsever, M. (2016). Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinde ve Besin Zincirinde Mikroplastikler in İncelenmesi ve Karakterizasyonu.
- Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M. B., Trachsel, J., and Gerdt, G. (2019). White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science advances*, 5(8), eaax1157.
- Berk, Z. (2018). Food process engineering and technology. *Elsevier*.
- Boudenne, A., Ibos, L., Fois, M., Majesté, J. C., and Géhin, E. (2005). Electrical and thermal behavior of polypropylene filled with copper particles. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 36(11), 1545-1554.
- Browne, M. A., Galloway, T., and Thompson, R. (2007). Microplastic an emerging contaminant of potential concern. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(4).
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., and Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science and technology*, 45(21), 9175-9179.
- Buckingham, J. W., Manno, C., Waluda, C. M., and Waller, C. L. (2022). A record of microplastic in the marine nearshore waters of South Georgia. *Environmental Pollution*, 306.
- Carpenter, E. J., and Smith Jr, K. L. (1972). Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, 175(4027), 1240-1241.
- Castillo, A. B., Al-Maslamani, I., and Obbard, J. P. (2016). Prevalence of microplastics in the marine waters of Qatar. *Marine Pollution Bulletin*, 111(1-2), 260-267.
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J. H., and Suh, S. (2020). Degradation rates of plastics in the environment. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(9), 3494-3511.
- Chang, S. H. (2023). Plastic waste as pyrolysis feedstock for plastic oil production: a review. *Science of The Total Environment*, 877, 162719.
- Chen, H. W., Chen, Y. Z., Liu, X. H., Tu, J. B., and Bai, L. (2020). Distribution characteristics of microplastics in land-based outlets in Tianjin. *Marine Science Bulletin*, 39(4), 514-520.
- Chubarenko, I., Bagaev, A., Zobkov, M., and Esiukova, E. (2016). On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment. *Marine pollution bulletin*, 108(1-2), 105-112.
- Claessens, M., Meester, S. De, Landuyt, L. Van, Clerck, K. De, and Janssen, C. R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 62(10), 2199-2204.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., and Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2588-2597.

- Cole, M., Webb, H., Lindeque, P. K., Fileman, E. S., Halsband, C., and Galloway, T. S. (2014). Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. *Scientific reports*, 4(1), 4528.
- Colton Jr, J. B., Burns, B. R., and Knapp, F. D. (1974). Plastic Particles in Surface Waters of the Northwestern Atlantic: The abundance, distribution, source, and significance of various types of plastics are discussed. *Science*, 185(4150), 491-497.
- Cozar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., and Duarte, C. M. (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(28), 10239-10244.
- Curren, E., and Leong, S. C. Y. (2019). Profiles of bacterial assemblages from microplastics of tropical coastal environments. *Science of the total environment*, 655, 313-320.
- Dai, Z. (2018). The Distribution of Microplastics in the Bohai Sea and Its Influencing Factors. *Chinese Academy of Sciences Yantai Insititute of Coastal Zone Research*.
- Danopoulos, E., Jenner, L. C., Twiddy, M., and Rotchell, J. M. (2020). Microplastic contamination of seafood intended for human consumption: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 128(12), 126002.
- Das, S. K., Eshkalak, S. K., Chinnappan, A., Ghosh, R., Jayathilaka, W. A. D. M., Baskar, C., and Ramakrishna, S. (2021). Plastic recycling of polyethylene terephthalate (PET) and polyhydroxybutyrate (PHB)—A comprehensive review. *Materials Circular Economy*, 3(1), 9.
- Dekiff, J. H., Remy, D., Klasmeier, J., and Fries, E. (2014). Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney. *Environmental Pollution*, 186, 248-256.
- Duis, K. and Coors, A. (2016). Microplastics in the Aquatic and Terrestrial Environment: Sources (with a Specific Focus on Personal Care Products), Fate and Effects. *Environmental Sciences Europe*, 28(1), 2.
- Dutta, S., Sethulekshmi, S., and Shriwastav, A. (2022). Abundance, morphology, and spatio-temporal variation of microplastics at the beaches of Mumbai, India. *Regional Studies in Marine Science*, 56, 102722.
- Edo, C., Tamayo-Belda, M., Martínez-Campos, S., Martín-Betancor, K., González-Pleiter, M., Pulido-Reyes, G., and Rosal, R. (2019). Occurrence and identification of microplastics along a beach in the Biosphere Reserve of Lanzarote. *Marine pollution bulletin*, 143, 220-227.
- Enders, K., Lenz, R., Stedmon, C. A., and Nielsen, T. G. (2015). Abundance, size and polymer composition of marine microplastics $\geq 10 \mu\text{m}$ in the Atlantic Ocean and their modelled vertical distribution. *Marine Pollution Bulletin*, 100(1), 70-81.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., ... and Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PloS one*, 9(12), e111913.
- Fendall, L. S., and Sewell, M. A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Marine pollution bulletin*, 58(8), 1225-1228.

- Free, C. M., Jensen, O. P., Mason, S. A., Eriksen, M., Williamson, N. J., and Boldgiv, B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake. *Marine pollution bulletin*, 85(1), 156-163.
- Ghanadi, M., Joshi, I., Dharmasiri, N., Jaeger, J. E., Burke, M., Bebelman, C., ... and Padhye, L. P. (2024). Quantification and characterization of microplastics in coastal environments: Insights from laser direct infrared imaging. *Science of the Total Environment*, 912, 168835.
- Gajšt, T., Bizjak, T., Palatinus, A., Liubartseva, S., and Kržan, A. (2016). Sea surface microplastics in Slovenian part of the Northern Adriatic. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), 392-399.
- Gao, L., Wang, Z., Peng, X., Su, Y., Fu, P., Ge, C., Zhao, J., Yang, L., Yu, H., and Peng, L. (2022). Occurrence and spatial distribution of microplastics, and their correlation with petroleum in coastal waters of Hainan Island, China. *Environmental Pollution*, 294, 118636.
- Ge, X., Xu, F., Li, B., Liu, L., Lu, X., Wang, L., Zhang, Y., Li, J., Li, J., and Tang, Y. (2024). Unveiling microplastic distribution and interactions in the benthic layer of the Yangtze River Estuary and East China Sea. *Environmental Science and Ecotechnology*, 20, 100340.
- Gedik, K., and Gozler, A. M. (2022). Hallmarking microplastics of sediments and *Chamelea gallina* inhabiting Southwestern Black Sea: A hypothetical look at consumption risks. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113252.
- Gedik, K., Eryaşar, A. R., Öztürk, R. Ç., Mutlu, E., Karaoğlu, K., Şahin, A., and Özvarol, Y. (2022). The broad-scale microplastic distribution in surface water and sediments along Northeastern Mediterranean shoreline. *Science of the Total Environment*, 843, 157038.
- Guo, J. J., Huang, X. P., Xiang, L., Wang, Y. Z., Li, Y. W., Li, H., and Wong, M. H. (2020). Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environment international*, 137, 105263.
- Güler, Ç., and Çobanoğlu, Z. (1997). Plastikler. *Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü*.
- He, B., Wijesiri, B., Ayoko, G. A., Egodawatta, P., Rintoul, L., and Goonetilleke, A. (2020). Influential factors on microplastics occurrence in river sediments. *Science of The Total Environment*, 738, 139901.
- Herrera, A., Asensio, M., Martínez, I., Santana, A., Packard, T., and Gómez, M. (2018). Microplastic and tar pollution on three Canary Islands beaches: an annual study. *Marine pollution bulletin*, 129(2), 494-502.
- Hou, L., Kumar, D., Yoo, C. G., Gitsov, I., and Majumder, E. L. W. (2021). Conversion and removal strategies for microplastics in wastewater treatment plants and landfills. *Chemical Engineering Journal*, 406, 126715.
- Huang, Y., Liu, Q., Jia, W., Yan, C., Wang, J., 2020. Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment. *Environmental Pollution*. 260, 114096.
- Ikenoue, T., Nakajima, R., Fujiwara, A., Onodera, J., Itoh, M., Toyoshima, J., Watanabe, E., Murata, A., Nishino, S., and Kikuchi, T. (2023). Horizontal distribution of surface microplastic concentrations and watercolumn microplastic inventories in the Chukchi Sea, western Arctic Ocean. *Science of the Total Environment*, 855.

- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., and Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Jiang, Y., Zhao, Y., Wang, X., Yang, F., Chen, M., and Wang, J. (2020). Characterization of microplastics in the surface seawater of the South Yellow Sea as affected by season. *Science of the Total Environment*, 724, 138375.
- Jung, H., Shin, G., Kwak, H., Hao, L. T., Jegal, J., Kim, H. J., and Oh, D. X. (2023). Review of polymer technologies for improving the recycling and upcycling efficiency of plastic waste. *Chemosphere*, 320, 138089.
- Karbalaei, S., Hanachi, P., Walker, T. R., and Cole, M. (2018). Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environmental science and pollution research*, 25, 36046-36063.
- Kataria, N., Bhushan, D., Gupta, R., Rajendran, S., Teo, M. Y. M., and Khoo, K. S. (2022). Current progress in treatment technologies for plastic waste (bisphenol A) in aquatic environment: Occurrence, toxicity and remediation mechanisms. *Environmental Pollution*, 315, 120319.
- Koelmans, A.A., Bakir, A., Burton, G.A., Janssen, C.R., (2016). Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies. *Environmental science and technology*, 50(7): 3315-3326.
- Kowalski, N., Reichardt, A. M., and Waniek, J. J. (2016). Sinking rates of microplastics and potential implications of their alteration by physical, biological, and chemical factors. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 310-319.
- Kumar, R., Sharma, P., Manna, C., and Jain, M. (2021). Abundance, interaction, ingestion, ecological concerns, and mitigation policies of microplastic pollution in riverine ecosystem: A review. *Science of The Total Environment*, 782, 146695.
- Law, K. L., and Thompson, R. C. (2014). Microplastics in the seas. *Science*, 345(6193), 144-145.
- Law, K. L., Starr, N., Siegler, T. R., Jambeck, J. R., Mallos, N. J., and Leonard, G. H. (2020). The United States' contribution of plastic waste to land and ocean. *Science advances*, 6(44), eabd0288.
- Leslie, H. A., Brandsma, S. H., Van Velzen, M. J. M., and Vethaak, A. D. (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment international*, 101, 133-142.
- Lestari, P., Trihadiningrum, Y., Wijaya, B. A., Yunus, K. A., and Firdaus, M. (2020). Distribution of microplastics in Surabaya river, Indonesia. *Science of the Total Environment*, 726, 138560.
- Li, J., Liu, H., and Chen, J. P. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water research*, 137, 362-374.
- Li, Z. (2020). Types and Distribution Characteristics of Microplastics in Seawater and Surface Sediments in the Coastal Waters of Haizhou. *Shanghai, Shanghai Ocean University. Doctoral dissertation, Master Thesis*, 1-89.
- Lin, F., Zhang, Q., Xie, J., Lin, Y., Chen, Y., Mao, K., Qin, Y., and Diao, X. (2022). Microplastics in biota and surface seawater from tropical aquaculture area in Hainan, China. *Gondwana Research*, 108, 41-48.

- Liu, B., Lu, Y., Deng, H., Huang, H., Wei, N., Jiang, Y., Jiang, Y., Liu, L., Sun, K., and Zheng, H. (2023). Occurrence of microplastics in the seawater and atmosphere of the South China Sea: Pollution patterns and interrelationship. *Science of the Total Environment*, 889, 164173.
- Liu, Y., Shi, H., Chen, L., Teng, X., Xue, C., and Li, Z. (2023). An overview of microplastics in oysters: Analysis, hazards, and depuration. *Food Chemistry*, 422, 136153.
- Lithner, D., Larsson, Å., and Dave, G. (2011). Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the total environment*, 409(18), 3309-3324.
- Llorca, M., Álvarez-Muñoz, D., Ábalos, M., Rodríguez-Mozaz, S., Santos, L. H., León, V. M., ... and Farré, M. (2020). Microplastics in Mediterranean coastal area: Toxicity and impact for the environment and human health. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 27, e00090.
- Lusher, A. L., Tirelli, V., O'Connor, I., and Officer, R. (2015). Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Scientific reports*, 5(1), 14947.
- Malankowska, M., Echaide-Goriz, C., and Coronas, J. (2021). Microplastics in marine environment: a review on sources, classification, and potential remediation by membrane technology. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 7(2), 243-258.
- Martin, C., Corona, E., Mahadik, G. A., and Duarte, C. M. (2019). Adhesion to coral surface as a potential sink for marine microplastics. *Environmental Pollution*, 255, 113281.
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C. 2015. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments.
- Moore, R. C., Loseto, L., Noel, M., Etemadifar, A., Brewster, J. D., MacPhee, S., ... and Ross, P. S. (2020). Microplastics in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from the Eastern Beaufort Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110723.
- Morris, A. W., and Hamilton, E. I. (1974). Polystyrene spherules in the Bristol Channel. *Marine pollution bulletin*, 5(2), 26-27.
- Mosca Angelucci, D., Clagnan, E., Brusetti, L., and Tomei, M. C. (2020). Anaerobic phenol biodegradation: kinetic study and microbial community shifts under high-concentration dynamic loading. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 6825-6838.
- Ogunola, O. S., Onada, O. A., and Falaye, A. E. (2018). Mitigation measures to avert the impacts of plastics and microplastics in the marine environment (a review). *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 9293-9310.
- Öztürk, R. C., and Altinok, I. (2020). Interaction of plastics with marine species. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(8), 647-658.
- PAGEV. (2023). Türkiye Plastik Sektörü İzleme Raporu. *Plastik Sanayicileri Derneği*.
- Pan, Z., Guo, H., Chen, H., Wang, S., Sun, X., Zou, Q. and Huang, J. (2019). Microplastics in the Northwestern Pacific: Abundance, distribution, and characteristics. *Science of the Total Environment*, 650, 1913-1922.
- Plan, F. S. (2020). Commonwealth of Australia.

- Plastics Europe, 2019. An analysis of european latest plastics production, demand and waste data. *Plast Eur. Plastics The Facts*
- Prarat, P., and Hongswat, P. (2022). Microplastic pollution in surface seawater and beach sand from the shore of Rayong province, Thailand: Distribution, characterization, and ecological risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 174.
- Rajmohan, K. V. S., Ramya, C., Viswanathan, M. R., and Varjani, S. (2019). Plastic pollutants: effective waste management for pollution control and abatement. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 12, 72-84.
- Rakib, M. R. J., Hossain, M. B., Kumar, R., Ullah, M. A., Al Nahian, S., Rima, N. N., and Sayed, M. M. (2022). Spatial distribution and risk assessments due to the microplastics pollution in sediments of Karnaphuli River Estuary, Bangladesh. *Scientific Reports*, 12(1), 8581.
- Ranjani, M., Veerasingam, S., Venkatachalapathy, R., Mugilarasan, M., Bagaev, A., Mukhanov, V., and Vethamony, P. J. M. P. B. (2021). Assessment of potential ecological risk of microplastics in the coastal sediments of India: a meta-analysis. *Marine Pollution Bulletin*, 163, 111969.
- Rillig, M. C., Ziersch, L., and Hempel, S. (2017). Microplastic transport in soil by earthworms. *Scientific reports*, 7(1), 1362.
- Ritchie, H., and Roser, M. (2018). Plastic pollution. *Our world in data*.
- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., and Teh, S. J. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific reports*, 3(1), 1-7.
- Rochman, C. M., Lewison, R. L., Eriksen, M., Allen, H., Cook, A. M., and Teh, S. J. (2014). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish tissue may be an indicator of plastic contamination in marine habitats. *Science of the total environment*, 476, 622-633.
- Rodrigues, A., Oliver, D. M., McCarron, A., and Quilliam, R. S. (2019). Colonisation of plastic pellets (nurdles) by *E. coli* at public bathing beaches. *Marine pollution bulletin*, 139, 376-380.
- Ryan, P. G., Moore, C. J., Van Franeker, J. A., and Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1999-2012.
- Sardon, H., and Dove, A. P. (2018). Plastics recycling with a difference. *Science*, 360(6387), 380-381.
- Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., and Lehtiniemi, M. (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental pollution*, 185, 77-83.
- Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N., and Akovalı, G. (2002). Ana hatlarıyla plastikler ve plastik teknolojisi. *Pagayay Yayıncılık*.
- Severini, M. D. F., Villagran, D. M., Buzzi, N. S., and Sartor, G. C. (2019). Microplastics in oysters (*Crassostrea gigas*) and water at the Bahía Blanca Estuary (Southwestern Atlantic): An emerging issue of global concern. *Regional Studies in Marine Science*, 32, 100829.
- Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Kang, J. H., Kwon, O. Y., Han, G. M., and Shim, W. J. (2014). Large accumulation of micro-sized synthetic polymer particles in the sea surface microlayer. *Environmental science and technology*, 48(16), 9014-9021.

- Sönmez, V. Z., Akarsu, C., and Sivri, N. (2023). Impact of coastal wastewater treatment plants on microplastic pollution in surface seawater and ecological risk assessment. *Environmental Pollution*, 318.
- Sun, X., Li, Q., Zhu, M., Liang, J., Zheng, S., and Zhao, Y. (2017). Ingestion of microplastics by natural zooplankton groups in the northern South China Sea. *Marine pollution bulletin*, 115(1-2), 217-224.
- Sun, X., Liang, J., Zhu, M., Zhao, Y., and Zhang, B. (2018). Microplastics in seawater and zooplankton from the Yellow Sea. *Environmental Pollution*, 242, 585-595.
- Şener, İ. and Yabanlı, M. (2023). Macro and microplastic abundance from recreational beaches along the South Aegean Sea (Türkiye). *Marine Pollution Bulletin*, 194, 115329.
- Terzi, Y., Gedik, K., Eryaşar, A. R., Öztürk, R. Ç., Şahin, A., and Yılmaz, F. (2022). Microplastic contamination and characteristics spatially vary in the southern Black Sea beach sediment and sea surface water. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113228.
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Vom Saal, F. S., and Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 364(1526), 2153-2166.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., ... and Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838.
- Tsang, Y. Y., Mak, C. W., Liebich, C., Lam, S. W., Sze, E. T. P., and Chan, K. M. (2017). Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1-2), 20-28.
- Turner, A., and Holmes, L. (2011). Occurrence, distribution and characteristics of beached plastic production pellets on the island of Malta (central Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin*, 62(2), 377-381.
- Uslu, G., and Sesli, F. A. (2011). Türkiye İçin Deniz Kadastrounun Önemi. *Türk Mühendis Ve Mimar Odaları Birliği Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 13, 18-22.
- Veerasingam, S., Mugilarasan, M., Venkatachalapathy, R., and Vethamony, P. (2016). Influence of 2015 flood on the distribution and occurrence of microplastic pellets along the Chennai coast, India. *Marine pollution bulletin*, 109(1), 196-204.
- Veerasingam, S., Saha, M., Suneel, V., Vethamony, P., Rodrigues, A. C., Bhattacharyya, S., and Naik, B. G. (2016). Characteristics, seasonal distribution and surface degradation features of microplastic pellets along the Goa coast, India. *Chemosphere*, 159, 496-505.
- Villanova-Solano, C., Díaz-Peña, F. J., Hernández-Sánchez, C., González-Sálamo, J., Edo, C., Vega-Moreno, D., Fernández-Martín, S., Fraile-Nuez, E., Machín, F., and Hernández-Borges, J. (2024). Beneath the water column: Uncovering microplastic pollution in the sublittoral coastal sediments of the Canary Islands, Spain. *Journal of Hazardous Materials*, 465.
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., ... and Reifferscheid, G. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems:

- what we know and what we need to know. *Environmental Sciences Europe*, 26(1), 1-9.
- Walker, T. R., and Fequet, L. (2023). Current trends of unsustainable plastic production and micro (nano) plastic pollution. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 160, 116984.
- Wang, T., Hu, M., Song, L., Yu, J., Liu, R., Wang, S., and Wang, Y. (2020). Coastal zone use influences the spatial distribution of microplastics in Hangzhou Bay, China. *Environmental Pollution*, 266, 115137.
- Watts, A. J., Lewis, C., Goodhead, R. M., Beckett, S. J., Moger, J., Tyler, C. R., and Galloway, T. S. (2014). Uptake and retention of microplastics by the shore crab *Carcinus maenas*. *Environmental science and technology*, 48(15), 8823-8830.
- Wong, C. S., Green, D. R., and Cretney, W. J. (1974). Quantitative tar and plastic waste distributions in the Pacific Ocean. *Nature*, 247(5435), 30-32.
- Wright, G., Rochette, J., Gjerde, K., and Seeger, I. (2018). The long and winding road: negotiating a treaty for the conservation and sustainable use of marine biodiversity in areas beyond national jurisdiction. Paris: IDDRI.
- Wu, P., Huang, J., Zheng, Y., Yang, Y., Zhang, Y., He, F., and Gao, B. (2019). Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics. *Ecotoxicology and environmental safety*, 184, 109612.
- Xu, P., Peng, G., Su, L., Gao, Y., Gao, L., and Li, D. (2018). Microplastic risk assessment in surface waters: A case study in the Changjiang Estuary, China. *Marine pollution bulletin*, 133, 647-654.
- Yang, J., Monnot, M., Sun, Y., Asia, L., Wong-Wah-Chung, P., Doumenq, P., and Moulin, P. (2023). Microplastics in different water samples (seawater, freshwater, and wastewater): Removal efficiency of membrane treatment processes. *Water Research*, 232, 119673.
- Yaşar, H. (2001). Plastikler dünyası. *MMO Yayınları*, Ankara, 2. Baskı, (3-89, 97,107,112,115,116,118,119,121,123,125,127,131,132).
- Young, A. M., and Elliott, J. A. (2016). Characterization of microplastic and mesoplastic debris in sediments from Kamilo Beach and Kahuku Beach, Hawai'i. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), 477-482.
- Yu, X., Peng, J., Wang, J., Wang, K., and Bao, S. (2016). Occurrence of microplastics in the beach sand of the Chinese inner sea: The Bohai Sea. *Environmental Pollution*, 214, 722-730.
- Yurtsever, M., (2018). Abiyotik bir su ürünü olan sofrta tuzunda mikroplastik kirliliği tehlikesi. *Su Ürünleri Dergisi*, 35(3): 243-249
- Yurtsever, M. (2015). Mikroplastikler'e genel bir bakış. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17(50), 68-83.
- Zendehboudi, A., Mohammadi, A., Dobaradaran, S., De-la-Torre, G. E., Ramavandi, B., Hashemi, S. E., Saeedi, R., Tayebi, E. M., Vafaei, A., and Darabi, A. H. (2024). Analysis of microplastics in ships ballast water and its ecological risk assessment studies from the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 198, 115825.
- Zhang, S., Zhang, W., Ju, M., Qu, L., Chu, X., Huo, C., and Wang, J. (2022). Distribution characteristics of microplastics in surface and subsurface Antarctic seawater. *Science of the Total Environment*, 838, 156051.

- Zhang, W., Zhang, S., Qu, L., Ju, M., Huo, C., and Wang, J. (2023). Seasonal distribution of microplastics in the surface waters of the Yellow Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115051.
- Zhao, S., Zhu, L., Wang, T., and Li, D. (2014). Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observations on occurrence, distribution. *Marine Pollution Bulletin*, 86(1-2), 562-568.
- Zhou, Q., Zhang, H., Fu, C., Zhou, Y., Dai, Z., Li, Y., and Luo, Y. (2018). The distribution and morphology of microplastics in coastal soils adjacent to the Bohai Sea and the Yellow Sea. *Geoderma*, 322, 201-208.
- Zhou, Q., Zhang, J., Fang, Q., Zhang, M., Wang, X., Zhang, D., and Pan, X. (2023). Microplastic biodegradability dependent responses of plastisphere antibiotic resistance to simulated freshwater-seawater shift in onshore marine aquaculture zones. *Environmental Pollution*, 331, 121828.
- Zhou, Z., Zhang, P., Zhang, G., Wang, S., Cai, Y., and Wang, H. (2021). Vertical microplastic distribution in sediments of Fuhe River estuary to Baiyangdian Wetland in Northern China. *Chemosphere*, 280, 130800.
- Zhu, L., Bai, H., Chen, B., Sun, X., Qu, K., and Xia, B. (2018). Microplastic pollution in North Yellow Sea, China: Observations on occurrence, distribution and identification. *Science of the Total Environment*, 636, 20-29

ÖZGEÇMİŞ

Tuğba Kılıç İlköğretimi Giresun/Bulancak Atatürk İlköğretim okulunda tamamladı. Daha sonra Bulancak Anadolu İmam Hatip Lisesinden mezun oldu. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği bölümünden 2019 yılında mezun oldu. 2021 yılında, Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı. Halen eğitimine devam etmektedir.