T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HALİÇ SEDİMANLARINDA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Pelin DOĞRUYOL

DANIŞMAN
Prof. Dr. Nilgün BALKAYA

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HALİÇ SEDİMANLARINDA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Pelin DOĞRUYOL

DANIŞMAN
Prof. Dr. Nilgün BALKAYA

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 18/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Mühendisliği Programı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Nilgün BALKAYA(Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Hüseyin SELÇUK
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Bilsen BELER BAYKAL
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin FYL-2017-25817 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Ülkemiz denizlerinde mikroplastik kirliliğine dikkat çekilmesini amaçlayan bu çalışma için bana tavsiyeleri, bilimsel birikimi ve özverili yaklaşımı ile destek olan danışman hocam Prof. Dr. Nilgün Balkaya'ya teşekkürlerimi sunarım. Çalışmanın araştırma safhasında konu ile ilgili tüm sorularıma içtenlikle cevap veren değerli hocalarım Doç. Dr. Serkan Emik, Doç. Dr. Sedat Gündoğdu, Dr. Olgaç Güven ve Dr. João Frias'a çok teşekkür ederim. Manevi desteği için saygıdeğer hocam Prof. Dr. Hüseyin Kurtuluş Özcan'a sonsuz teşekkürler.

Numunelerin alınması konusunda verdikleri destek için İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deniz Hizmetleri Müdürlüğü Kıyı Temizleme Şefi Saffet Altındağ başta olmak üzere, İSTAÇ Deniz Hizmetleri Şefi Alptekin Erdem, Deniz Hizmetleri Sorumlusu Mahmut Bayrakçı, Laboratuvar Şefi Elif Çıtlak, Asım Emek ve İSTAÇ Deniz Hizmetleri Sütlüce Hizmet Birimi'nin tüm çalışanlarına çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans sürecimde beni her zaman destekleyen ve araştırma konum ile ilgili fikir alışverişinde bulunabileceğim etkinliklere katılmamı sağlayan genel müdürüm Mehmet Kerem Kemerli ve genel müdür yardımcım Hakan Çiner başta olmak üzere tüm MEKE ailesine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca manevi desteklerini benden esirgemeyen Birgül Şener ve Erdal Şener'e sevgilerimi sunar, çok teşekkür ederim. Hayatımda her daim yanımda olan, bu zorlu çalışma dönemimde de beni sözleri ile cesaretlendiren, motive eden ve bana inanan canım arkadaşlarım Burcu Çelen ve Yasmin Mert'e kalpten teşekkürler.

Bir insanın en büyük şansı ailesidir. Onların küçük yaşlarımda içime ektiği sevgi, saygı, güven ve özgürlük tohumları, şu an mutluluk, huzur, özgüven ve başarı olarak meyvelerini vermekte. Canım annem Şükran Doğruyol, canım babam Haluk Doğruyol ve canım ablam Aylin İşler başta olmak üzere tüm ailem, iyi ki varsınız.

Hayatımda tanıdığım en güçlü ve denizi en çok seven insana, rahmetli dedem Kaptan Kadir Doğruyol'a, bana öğrettiği her şey için sonsuz sevgiler.

Bir insanın ikinci en büyük şansı ise arkadaşlarıdır. Kıymetli arkadaşlığı ile her anımda yanımda hissettiğim Müge Şener'e varlığı için minnettarım.

Mayıs, 2019 Pelin DOĞRUYOL

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **i**
İÇİNDEKİLER ..... **ii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **iv**
TABLO LİSTESİ ..... **vi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **vii**
ÖZET ..... **viii**
SUMMARY ..... **ix**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **8**
2.1. PLASTİKLER 8
2.1.1. Plastiklerin Genel Özellikleri 9
2.1.2. Plastiklerin Türleri 10
2.1.2.1. Termoset Plastikler 11
2.1.2.2. Termoplastikler 11
2.1.3. Plastiklerin Kullanım Alanları 13
2.1.3.1. Dünya Plastik Sektörü 16
2.1.3.2. Türkiye Plastik Sektörü 16
2.2. PLASTİK ATIKLAR 17
2.3. MİKROPLASTİKLER 19
2.3.1. Mikroplastiklerin Kaynakları 20
2.3.1.1. Birincil Mikroplastikler 21
2.3.1.2. İkincil Mikroplastikler 22
2.3.2. Mikroplastiklerin Sınıflandırılması 23
3. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR **25**
4. MALZEME VE YÖNTEM **29**
4.1. NUMUNE ALMA İSTASYONLARININ ÖZELLİKLERİ 29
4.2. SEDİMAN NUMUNELERİNİN ALINMASI 33
4.3. MİKROPLASTİK ANALİZİ 33
4.4. FTIR SPEKTROSKOPİ ANALİZİ 34

5. BULGULAR **36**
5.1. PLASTİK KARAKTERİZASYONU (>5 mm-1 mm) 36
5.1.1. Boyut Analizi 38
5.1.2. Renk Analizi 42
5.1.3. Tip Analizi 52
5.1.4. Ağırlık Analizi 61
5.1.5. FTIR Analizi 67
5.2. MİKROPLASTİK KARAKTERİZASYONU (1 µm-1 mm) 69
6. TARTIŞMA VE SONUÇ **73**
KAYNAKLAR **84**
EKLER **92**
EK 1. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik renklerinin istasyonlara göre dağılımı 92
EK 2. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik tiplerinin istasyonlara göre dağılımı 94
ÖZGEÇMİŞ **95**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Dünyada plastiklerin kullanım alanları (PlasticsEurope, 2017) 15
Şekil 2.2: Türkiye'de plastiklerin kullanım alanları (PAGEV, 2017) 15
Şekil 2.3: Türkiye'de plastik hammadde üretimi (PAGEV, 2017) 17
Şekil 2.4: Plastik parçalarının boyutlarının tanımlanması (Van Cauwenberghe ve diğ., 2015).....20
Şekil 2.5: Mikroplastiklerin meydana gelme aşamaları (GESAMP, 2015) 21
Şekil 2.6: Mikroplastiklerin su ortamındaki potansiyel hareketleri ve biyolojik etkileşimleri (Thomas ve diğ., 2014).....22
Şekil 4.1: Çalışma bölgesinin haritası ve numune alma noktaları.....31
Şekil 4.2: Numune alınan istasyonlar 31
Şekil 4.3: Mikroplastik analiz aşamaları (Hidalgo-Ruz ve diğ., 2012) 35
Şekil 5.1: Plastik miktarının mevsimsel dağılımı (%) 37
Şekil 5.2: Plastik miktarının istasyonlara göre mevsimsel değişimi 37
Şekil 5.3: Plastik miktarının boyutlarına göre dağılımı (%) 38
Şekil 5.4: İlkbahar mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi 39
Şekil 5.5: Yaz mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi 39
Şekil 5.6: Sonbahar mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi 40
Şekil 5.7: Kış mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi 41
Şekil 5.8: Plastiklerin boyutlarına göre mevsimsel değişimi 41
Şekil 5.9: Plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%) 42
Şekil 5.10: İlkbahar mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%) 43
Şekil 5.11: İlkbahar mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi 43
Şekil 5.12: İlkbahar mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi 44
Şekil 5.13: Yaz mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%).....45
Şekil 5.14: Yaz mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi.....46
Şekil 5.15: Yaz mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi 46
Şekil 5.16: Sonbahar mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%).....47
Şekil 5.17: Sonbahar mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi 48
Şekil 5.18: Sonbahar mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi 48
Şekil 5.19: Kış mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%).....49
Şekil 5.20: Kış mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi.....50
Şekil 5.21: Kış mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi 51
Şekil 5.22: Plastiklerin renklerine göre mevsimsel değişimi 51
Şekil 5.23: Tanımlanan plastik tiplerine ait görseller 52
Şekil 5.24: Plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%) 52
Şekil 5.25: İlkbahar mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%) 53
Şekil 5.26: İlkbahar mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi 54
Şekil 5.27: İlkbahar mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi.....54
Şekil 5.28: Yaz mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%).....55

Şekil 5.29: Yaz mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi 56
Şekil 5.30: Yaz mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi 56
Şekil 5.31: Sonbahar mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%) 57
Şekil 5.32: Sonbahar mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi 58
Şekil 5.33: Sonbahar mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi 58
Şekil 5.34: Kış mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%) 59
Şekil 5.35: Kış mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi 60
Şekil 5.36: Kış mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi 60
Şekil 5.37: Plastiklerin tiplerine göre mevsimsel değişimi 61
Şekil 5.38: Plastik ağırlıklarının boyutlarına göre dağılımı (%) 62
Şekil 5.39: İlkbahar mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi 63
Şekil 5.40: Yaz mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi 64
Şekil 5.41: Sonbahar mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi 65
Şekil 5.42: Kış mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi 66
Şekil 5.43: Plastik ağırlıklarının boyutlarına göre mevsimsel değişimi 67
Şekil 5.44: Mikroplastiklerin polimer yapılarına göre dağılımı (%) 68
Şekil 5.45: Haliç'te elde edilen en yaygın dört farklı polimerin FTIR-ATR sonuçları (a) akrilonitril bütadien kopolimeri (b) polivinil klorür (c) naylon 6 (d) polietilen 68
Şekil 5.46: 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik miktarının mevsimsel dağılımı (%) 69
Şekil 5.47: 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik miktarının istasyonlara göre mevsimsel değişimi ..70
Şekil 5.48: 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin renklerine göre mevsimsel değişimi 71
Şekil 5.49: 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin tanımlanan tiplerinin mikroskop görüntüleri (a) plastik parçası (b) lif (c) film 71
Şekil 5.50: 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin tiplerine göre mevsimsel değişimi 72

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Plastik tanımlama ve geri dönüşüm kodları (Yurtsever, 2014).....12
Tablo 2.2: Plastiklerin türlerine göre kullanım alanları (Yurtsever, 2014; Vatansever, 2015).....13
Tablo 2.3: Dünya plastik ürün üretiminin bölgesel dağılımı (PAGEV, 2016) 16
Tablo 2.4: Mikroplastiklerin tanımlanması için kullanılan kategoriler (Hidalgo-Ruz ve diğ., 2012)...23
Tablo 4.1: Numune alınan istasyonların özellikleri 30
Tablo 6.1: Dünyanın farklı alanlarındaki haliç ve deniz sedimanlarında mikroplastik miktarları ve karakteristik özellikleri.....81

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	**Açıklama**
g	:Gram
kg	:Kilogram
L	:Litre
m	:Metre
mm	:Milimetre
µm	:Mikrometre
m^2	:Metrekare
km^2	:Kilometrekare
m^3	:Metreküp
°	:Derece
%	:Yüzde

Kısaltmalar	**Açıklama**
EU MSFD	:Avrupa Birliği Deniz Strateji Çerçeve Direktifi
FAO	:Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
FTIR	:Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GESAMP	:Deniz Çevresinin Korunmasının Bilimsel Yönleri Hakkında Ortak Uzman Grubu
IMO	:Uluslararası Denizcilik Örgütü
IOC-UNESCO	:Hükümetlerarası Oşinografik Komisyon- Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
MSFD-GES	:Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi-İyi Çevresel Durum
PAGEV	:Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı
SPI	:Plastik Endüstrisi Topluluğu
TÜDAV	:Türk Deniz Araştırmaları Vakfı
UNEP	:Birleşmiş Milletler Çevre Programı
WWF	:Dünya Doğayı Koruma Vakfı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HALİÇ SEDİMANLARINDA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Pelin DOĞRUYOL

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Nilgün BALKAYA

Dünya çapında ekolojik bir problem olarak kabul edilen mikroplastikler ülkemiz denizleri için de tehdit oluşturmaktadır. Mikroplastiklerin miktar ve özelliklerinin belirlenmesi çevresel etkileri dikkate alındığında büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı Altın Boynuz adıyla bilinen Haliç'in sedimanlarında mikroplastik kirliliğinin araştırılmasıdır. Çalışma kapsamında, Mayıs 2017 ile Şubat 2018 tarihleri arasında Haliç'te, yedi istasyondan, mevsimlik olarak alınan sediman numunelerinde mikroplastik tayini yapılmış, tespit edilen mikroplastikler miktar, boyut, renk, tip, ağırlık ve polimer türleri açısından incelenmiştir. Mikroplastiklerin yanı sıra 5 mm'den büyük plastikler için de miktar, boyut, renk, tip ve ağırlık incelemesi yapılmıştır.

Çalışma sonuçları Haliç'in yoğun bir mikroplastik kirliliği ile karşı karşıya olduğunu ortaya koymaktadır. En fazla mikroplastiğe Sünnet Köprüsü ve Kasımpaşa istasyonlarında rastlanmıştır. Aynı zamanda elde edilen veriler bölgede film ve lif tipi plastiklerin baskın olduğunu göstermiştir. Araştırma, Haliç'in plastik kirliliği açısından mevcut durumuna dikkat çekmekle birlikte olası kaynaklarını gözden geçirerek azaltılması için yapılması gerekenleri de öneri olarak sunmaktadır.

Mayıs 2019, 104 sayfa.

Anahtar kelimeler: Mikroplastikler, sediman, deniz çöpleri, Haliç.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF MICROPLASTIC POLLUTION IN THE GOLDEN HORN SEDIMENTS

Pelin DOGRUYOL

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Education

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Nilgun BALKAYA

Microplastics which are accepted as an ecological problem all over the world, pose a threat to the seas of our country. Determination of the abundance and the characteristics of the microplastics is of great importance considering their environmental impacts.

The aim of this study is to investigate the microplastic pollution in the sediments of the Golden Horn. Within the scope of this study, determination of microplastics were performed in sediment samples taken from seven different stations in Golden Horn in seasonal basis between May 2017 and February 2018. The microplastics were examined in terms of abundance by number, size, color, type, weight and polymer types. In addition to the microplastics, abundance by number, size, color, type and weight were also examined for plastics larger than 5 mm.

The results of the study revealed that the Golden Horn is exposed to intense microplastic pollution. The highest microplastic abundances by number were observed in the Sunnet Bridge and Kasimpasa stations. Besides, the obtained data showed that film and fiber type plastics were dominant in the region. The study draws attention to the current status of the Golden Horn in terms of plastic pollution. It also provides suggestions regarding the reduction of the potential sources of microplastics.

May 2019, 104 pages.

Keywords: Microplastics, sediment, marine litters, Golden Horn.

This study was funded by Istanbul University-Cerrahpasa Scientific Research Projects Coordination Unit with the project number FYL-2017-25817.

1. GİRİŞ

Deniz kirliliği uzun yıllardır en önemli çevresel problemlerin başında gelmektedir. Göllere, nehirlere, karaya ve atmosfere bırakılan her türlü kirleticinin doğrudan veya dolaylı yollardan denizlere ulaşması kirliliğin hızla artmasına sebep olmaktadır (Samsunlu, 1995). Bu kirleticilerin başında endüstriyel, tarımsal ve evsel atık sular yer almaktadır. Doğal atık bölgeleri gibi kabul edilerek sucul ortamlara kontrolsüzce yapılan atık su deşarjları bu bölgeler için büyük bir tehdit oluşturmaktadır (Liu ve diğ., 2019; Nour ve diğ., 2019). Organik ve kimyasal katı atıklar, besin maddelerinin alıcı ortamın dengesini bozacak şekilde aşırı boşaltımı, atık ısı, radyoaktif atıklar, deniz dibinden taranan malzeme, çamur, çöp ve hafriyat artıklarının ve benzeri atıkların boşaltımı, gemi ve diğer deniz araçlarından kaynaklanan petrol türevli katı ve sıvı atıklar (sintine suyu, kirli balast, slaç, slop, yağ ve benzeri atıklar) kirliliğin diğer kaynaklarını oluşturmaktadır. Deniz suyu niteliğinin bu şekilde bozulması canlı yapıların zarar görmesine, insan sağlığının tehlikeye girmesine ve balıkçılık dahil denizcilik faaliyetlerinin engellenmesine neden olmaktadır (Alpay, 2015).

Sucul ekosistemlerde meydana gelen kirlenmeler bu yapıların tabanında yer alan sediman tabakasını da etkilemektedir. Doğal sularda değişen miktarlarda birikinti materyalleri yığılarak sedimanı oluşturmaktadır. Sucul sistemlerde farklı karakterli materyalleri bünyesine alan sediman (dip çamuru), coğrafi ve doğal sebeplerden oluşan erozyonla, su içindeki ölü alglerin, organik ve inorganik maddelerin, dip kısma çökerek birikmesi sonucu ortaya çıkmaktadır (Aydın ve Sunlu, 2004). Sucul ortamın organik maddeler, metaller, petrol türevleri, yapay tarımsal gübreler, deterjanlar, radyoaktivite, pestisitler, inorganik tuzlar ve yapay organik kimyasal maddeler gibi deşarjlar ile olumsuz yönde etkilenmesi sedimanın da kalitesini değiştirmektedir. Su kütlesi ile sürekli temas halinde olan sediman tabakaları bünyelerinde biriktirdikleri kirleticileri tekrar suya bırakarak bölgede kirlilik oluşmasına sebep olabilmektedir (Hsu ve diğ., 2007).

Son yıllarda su ve sediman kirliliğinde en fazla tehdit oluşturan kirleticiler deniz çöpleridir. (Galgani ve diğ., 2015; TÜDAV, 2017). Dünyanın her yerinde, kıyı şeritlerine, deniz, göl ve nehir sistemlerinin pelajik ve bentik bölgelerine herhangi bir kaynaktan giren tüm katı atıklar

deniz çöpü olarak tanımlanmaktadır (Anfuso ve diğ., 2015; Veiga ve diğ., 2016). Çevre, ekonomi, sağlık ve estetik açısından ciddi problemler yaratan deniz çöplerinin büyük bir çoğunluğunu plastikler oluşturmakla birlikte onları, metaller, camlar, tahta parçaları, giysiler, kağıtlar ve kartonlar takip etmektedir. Deniz kökenli deniz çöpü kaynaklarını ticaret ve yolcu gemileri, balıkçı tekneleri, askeri filolar ve araştırma gemileri, gezi tekneleri, açık deniz petrol ve gaz arama platformları, sondaj kuyuları ve balık çiftlikleri oluşturmaktadır. Kara kökenli deniz çöplerinin kaynakları ise başta sahiller, iskeleler, limanlar, rıhtım ve nehir kenarları olmakla birlikte kıyıya uzak kesimlerde üretilen atıklar da rüzgar ve suların etkisiyle denizlere taşınabilmektedir (Vişne ve Bat, 2015; Veiga ve diğ., 2016). Denizlere ulaşan çöplerin dağılımı ve bölgesel birikmeleri akıntılar, gelgit döngüleri, rüzgarlar ve deniz tabanı topografyasından etkilenmektedir. Bu etkiler ile çöpler sahillerde birikme, su kolonu boyunca yüzme, deniz canlıları tarafından yutulma, deniz dibine çökerek sedimanda birikme özellikleri göstermektedir (Galgani ve diğ., 2015). Deniz çöplerinin deniz canlılarına dolanarak boğulmalara neden olması ve bu canlılar tarafından besin sanılarak tüketilmesi doğal hayata doğrudan verdiği zararların başında gelmektedir. Aynı zamanda çöp parçaları okyanuslar arasında istilacı türlerin taşınmasına da neden olabilmektedir. Balıkçı teknelerine ve ağlarına verdikleri zararlar, soğutma suyu girişlerini tıkayarak enerji santralleri ve deniz suyu arıtma tesislerinin çalışmalarını etkilemeleri, sahillerin, ticari liman ve marinaların kirlenmesi deniz çöplerinin neden olduğu ekonomik zararlardandır. Bu çöplerin arasında tıbbi atıkların da yer alması insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır (Vişne ve Bat, 2015).

Deniz çöplerinin büyük bir çoğunluğunu plastik atıklar oluşturmaktadır. Deniz kirliliğinde geçmiş yıllardan beri en büyük beş sorun ötrofikasyon, alg patlamaları, çevresel östrojenler, yabancı organizmalar ve patojenler iken günümüzde en önemli problem plastik kirliliğidir. Yapılan çalışmalar kıyı şeridinde biriken atıkların %60 ila %80'inin plastikten oluştuğunu, hatta bazı alanlarda plastik miktarının %95'e kadar çıkabildiğini göstermektedir (Anfuso ve diğ., 2015). Plastikler dayanıklılığı, kullanım alanlarının genişliği ve sağladığı kolaylıklar ile hayatımızın her kısmında yer almaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde her yıl milyarca tek kullanımlık plastik ürün tüketildiği rapor edilmektedir. Bunların başında sigara izmaritleri (580 milyon), içecek şişeleri (46 milyon), pipetler (36.4 milyon), kahve bardakları (16 milyon) ve yiyecek ambalajları (2.5 milyon) gelmektedir (Seas at Risk, 2017). Yine Avrupa'da yılda 27 milyon ton plastik atık açığa çıkmakta ve bunların sadece üçte biri geri dönüştürülmektedir. Üretim ve tüketim miktarının yüksekliği ile orantılı olarak artış gösteren

plastik atıklar doğrudan ve dolaylı yollarla sucul ekosistemlere ulaşmaktadır. Son tahminlere göre denizlerde 150 milyon tondan fazla plastik olduğu ve mevcut gidişat değişmediği takdirde, 2025'e gelindiğinde denizlerin her 3 ton balığa karşılık 1 ton plastiğe ev sahipliği yapacağı raporlanmıştır. 2050'de ise denizlerde ağırlık olarak plastikten çok balık olacağı gerçeği tehlikenin boyutunu gözler önüne sermektedir. Plastiklerin çoğu biyobozunur olmadığından doğadaki mevcudiyetleri uzun yıllar sürmektedir. Denizlerde en fazla rastlanan plastik türleri incelendiğinde sigara izmaritinin 5 yıl, plastik poşetlerin 20 yıl, plastik bardakların 50 yıl ve balık ağlarının 600 yıl denizde bozulmadan kaldıkları görülmektedir (WWF, 2018).

Plastik çöpler vahşi doğaya fiziksel zararlar verebildikleri gibi birçok plastik zehirli yapısı gereği kimyasal zararlar da meydana getirebilmektedir. Günümüzde çok sayıda deniz canlısı makroplastik olarak tanımlanan büyük plastik atıklardan etkilenmektedir (Cole ve diğ., 2011; Rochman ve diğ., 2013). Bu durum en çok plastik çöplerin yutulması veya vücutlarına dolanması ile başlamakta ve ölümle sonuçlanmaktadır. Aynı zamanda yutulan plastiklerin hidrofobik kirleticileri adsorbe ettiği göz önüne alındığında, denizel ekosistemin toksisite tehlikesi ile karşı karşıya kalma problemi ortaya çıkmaktadır. Albatros, fulmar, yelkovan ve fırtına gibi deniz kuşları, deniz kaplumbağaları, deniz memelileri ve balıklar yüzer plastikleri besin sanarak tüketmektedir. Her yıl terk edilmiş balık ağlarına takılan balık, kuş ve memeli sayıları kesin olarak bilinmemekle birlikte tahminler milyonlarca olduğu yönündedir. (Valavanidis ve Vlachogianni, 2012; Rochman ve diğ., 2013). Dünya genelinde 344 türün plastiklere dolaşmış halde bulunduğu tespit edilmiştir. Plastikler yaralanma, lezyon ve şekil bozukluklarına yol açabilmekte ve hayvanların diğer avcı hayvanlardan kaçmak için hareket etmesini, yüzmesini ve beslenmesini engellemektedir. Bu durum onların açlıktan, boğularak veya kolay av haline geldikleri için ölmelerine neden olmaktadır (WWF, 2018). Plastik deniz çöplerinin deniz tabanında birikmesi tehlikenin bir başka boyutuna dikkat çekmektedir. Bu çöplerin birikimi sedimanın üzerindeki su ile gözeneklerdeki su arasındaki gaz alışverişini engelleyerek bentik organizmaların rahatsız olmasına ve boğulmasına neden olmaktadır (Valavanidis ve Vlachogianni, 2012).

Günümüzde plastik kirliliği üzerine yapılan araştırmalar mikroplastik kavramına dikkat çekmektedir. Avrupa'da her yıl 70 bin ila 130 bin ton mikroplastiğin denizlere bırakıldığı raporlarda yer almaktadır (WWF, 2018). Mikroplastikler büyük plastik parçaların rüzgar, akıntı ve ultraviyole ışınlar etkisiyle degradasyona uğraması sonucu oluşan 5 mm'den küçük partiküllerdir (Vianello ve diğ., 2013; Thomas ve diğ., 2014; Van Cauwenberghe ve diğ., 2015; GESAMP 2015; Anderson ve diğ., 2016; Auta ve diğ., 2017). Denizde görünür büyüklükteki atıkları karakterize etmek ve sınıflandırmak kolay olsa da mikroplastikler için bu durumun nispeten zor olması önemlerini arttırmaktadır. Hidrofobik yüzeyleri olması, kirleticileri taşıma potansiyelleri, yüzücülük, PCB ve DDT gibi organik maddeleri absorplayabilmeleri, UV foto-oksidatif bozulma, biyolojik ve termal parçalanma gibi özellikleri ile sucul ekosistemlerde tehlike haline gelmişlerdir (Song ve diğ., 2015). Mikroplastikler yüzey sularında, plajlarda, deniz tabanındaki sedimanlarda ve deniz kuşları, balıklar, çift kanatlılar, memeliler, kabuklu hayvanlar gibi çok çeşitli deniz organizmalarında bulunmaktadır. Özellikle derin deniz bölgeleri, denizaltı kanyonları ve deniz kıyısındaki sığlıklar mikroplastiklerin birikim gösterdiği alanlardır. (Auta ve diğ., 2017). Polivinilklorür, poliester ve poliamid gibi yüksek yoğunluklu mikroplastikler sedimanlarda birikmekle birlikte akıntılar etkisiyle oluşan bir türbülans deniz tabanındaki bu mikroplastiklerin süspanse olarak yeniden su kolonu boyunca dağılmalarına neden olabilmektedir (Cole ve diğ., 2011; Zobkov ve Esiukova, 2017). Bununla birlikte mikroplastiklerin bentik organizmalar üzerindeki etkileri incelendiğinde, yüksek lipid içeriği nedeniyle deniz besin ağları için büyük önem taşıyan deniz solucanı *Arenicola marina'nın* kilo kaybı ile sedimandaki mikroplastik konsantrasyonu arasında pozitif bir ilişki olduğu ortaya çıkmaktadır (Thomas ve diğ., 2014; Sagawa ve diğ., 2018). Mikroplastiklerin fitoplankton ve zooplankton gibi birincil trofik seviyedeki organizmalar tarafından absorbe edilmesi besin zincirinde yer edinmelerine neden olmaktadır. Bu durum hem deniz canlıları hem insan sağlığı için ciddi tehdit oluşturmaktadır (GESAMP, 2015; Avio ve diğ., 2017; Güven ve diğ., 2017; Sagawa ve diğ., 2018). Mikroplastiklerin sucul ekosistemler üzerinde yarattıkları tüm etkiler göz önünde bulundurulduğunda, miktar ve kimyasal yapılarının saptanması önem kazanmaktadır.

Ülkemizde deniz kirliliği ve ona bağlı oluşan sediman kirliliğinde Marmara Denizi ve özellikle İstanbul Boğazı önem teşkil eden araştırma noktalarından biridir. Marmara Denizi'nin, havzasında önemli sanayi bölgelerini barındırması, büyük yüzey alanına ve hacme sahip olması, Karadeniz ve Ege Denizi arasındaki konumu ile sürekli akıntıların etkisi altında

olması nedeniyle kirlenme potansiyeli oldukça yüksektir (Taşdemir, 2002). Kirletici kaynakları arasında evsel ve endüstriyel atık sular, çoğunluğunu plastiklerin oluşturduğu katı atıklar, dereler ile taşınan kirleticiler, gemi atık suları, deniz trafiği ve deniz kazaları sonucu meydana gelen kirlenmeler yer almaktadır (Alpay, 2015). Bunların içerisinde özellikle Karadeniz'den gelen büyük besin girdisi ve İstanbul'dan gelen doğrudan atık su deşarjları deniz habitatına ciddi şekilde zarar vermektedir (Ediger, 2016). Kirlenmeler sonucu ortaya çıkan problemler incelendiğinde en önemlilerinden birinin ötrofikasyon olduğu görülmektedir. Bununla birlikte endüstriyel kaynaklı kirleticiler Marmara Denizi'nde toksik etkili maddelerin ve ağır metallerin artmasına neden olmaktadır (Taşdemir, 2002; Ediger, 2016). Bölgede, boğazdan geçen tanker trafiğinin yoğunluğu ile endüstri ve rafineri atıkları özellikle İzmit, İstanbul ve Haliç'te petrol kirliliği açısından da tehdit oluşturmaktadır. Petrol denizde uzun süre kalabilme potansiyeline sahiptir. Herhangi bir döküntü olması durumunda, petrolün uçucu kısmı uçmakta, bir kısmı rüzgar ve akıntının etkisiyle kıyılara vurmakta, bir kısmı mikrobiyal degradasyona uğramaktadır. Geri kalan kısmı ise deniz dibine çökerek sedimanda birikme göstermektedir. Petrol ve türevleri balıklar, çift kabuklu yumuşakçalar, karidesler, algler, deniz kuşları gibi birçok deniz canlısına etki ettiğinden Marmara Denizi için ciddi bir çevresel problem oluşturmaktadır (Güven ve Çoban, 2016). Marmara Denizi'nin pelajik ve bentik bölgeleri için bir diğer tehlike ise deniz çöpleridir. Bölgede konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde sedimanda birikim gösteren çöplerin büyük bir çoğunluğunu plastik atıkların oluşturduğu görülmektedir. Plastik atıklar içerisinde ise en çok ambalajlar, poşetler, şişeler, sert plastikler ve balıkçı ağları yer almaktadır (Yüksek ve Beken, 2016).

İstanbul'da deniz ve sediman kirliliğinin önem kazanmasında en etkili noktalardan biri Altın Boynuz adıyla bilinen Haliç'tir (Balkis ve diğ., 2010; Tas ve Yılmaz, 2015). Yaklaşık 7.5 km uzunluğa ve ortalama 400 m genişliğe sahip Haliç'te en geniş bölge 1000 m ile Sarayburnu ve Tophane arasındadır. En derin yeri yaklaşık 40 m ile Galata Köprüsü bölgesi iken Halıcıoğlu-Eyüp civarında derinliği 2-3 metreye kadar düşen Haliç'te, sonlara doğru sığlaşma ve adacıklar görülmektedir (Albayrak ve diğ., 2010; Karakaş, 2011; Özsoy ve Altıok, 2016). Alibeyköy ve Kağıthane derelerini İstanbul Boğazı'na bağlayan Marmara Denizi'nin biyolojik çeşitlilik açısından zengin su kütlelerinden olan bölge çok eski zamanlarda özel bir ekosisteme ve verimli topraklara sahipti. Aşırı nüfus artışı, sanayileşme ve plansız yerleşim ile birlikte endüstriyel ve evsel atıkların kontrolsüz deşarjlarına uzun yıllar boyunca maruz

kalması, Haliç'in dibinde çamur birikintilerinin oluşmasına ve bu denizel ekosistemin bozulmasına neden olmuştur. Zamanla çürüyen çamurdan etrafa kötü kokular yayılmaya başlamış ve 1960'larda Haliç ve çevresi İstanbul için en büyük çevre problemlerinden birine dönüşmüştür. 1980'ler itibariyle bölgede sanayilerin azaltılması ve boşaltılan arazilerin yeşil alanlara dönüştürülmesi ile ıslah çalışmaları başlamıştır. Haliç çevre koruma projesi kapsamında birçok noktada atık su kolektörleri ve atık su arıtma tesisleri yapılmıştır. Aynı zamanda Haliç'e dökülen derelerde ıslah çalışmalarına başlanarak onlarla taşınan katı madde yükünün önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Özellikle Haliç'te dip sedimanının temizlenmesi ve nihai bertarafı için yapılan çalışmalar denizde ve karada ayrı ayrı planlanarak yürütülmüştür (Karakaş, 2011; Eroğlu, 2012).

Araştırmacılar tarafından hem kirliliğin boyutunu belirlemek hem yapılan ıslah çalışmalarının iyileştirici etkisini ortaya koymak için Haliç'in deniz suyu ve sediman örnekleri dönemsel olarak incelenerek, kirletici parametrelerde meydana gelen değişimler takip edilmektedir. Sur ve diğ. (2002) yaptıkları çalışmada çözülmüş oksijen seviyesinin sınır değerlerde olduğuna ve özellikle Eyüp-Sütlüce tarafında belirlenen H_2S ve fekal koliform yoğunluğuna dikkat çekmişlerdir. Balkis ve diğ. (2010) deniz yüzeyinde askıda katı madde miktarının geçmiş yıllara göre azalmış olmasına rağmen çözünmüş oksijen miktarının yüzeyde ve derinlerde düşük seviyelerde olduğu üzerinde durmuşlardır. Aynı zamanda Haliç'in en iç kısımlarında ötrofikasyon varlığından söz etmişlerdir. Türetken ve diğ. (2016) yapılan rehabilitasyon çalışmalarına ve tüm nokta kaynaklarının kontrolüne rağmen, Haliç'te kanalizasyon deşarjı ve yağış olaylarından sonra fekal indikatör bakteri konsantrasyonlarının önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir. Kanalizasyon kirliliğinin ana kaynaklarını Haliç'i besleyen Alibeyköy ve Kağıthane dereleri olarak tanımlamışlardır. Gürkan ve Yüksek (2016), raporlarında 2013 yılında İSKİ tarafından desteklenen ve Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü tarafından yürütülen Haliç'teki su ve sediman kalitesi ile biyoçeşitlilik izleme projesi kapsamında bölgede denizel yaşam için bir toparlanma olduğu sonucuna değinmişlerdir. Haliç'in iç kısımlarına doğru her ne kadar tür sayısı 19'dan 4'e düşse de fırsatçı türlere karşı duyarlı türlerin arttığı belirtilmiştir. Biyoçeşitlilik açısından nehir ağzı ve İstanbul Boğaz'ı tarafları iki farklı bölge olarak tanımlanmıştır. Özsoy ve Altıok (2016) çalışmalarında Haliç'in yüzeyinde nehir kaynaklı sular tespit edilse de hemen altında bulunan boğaz sularının aynı özellikleri taşımadığını belirtmişlerdir. Oşinografik parametreleri değerlendirdiklerinde yüzey suyunda düşük çözünmüş oksijen seviyelerine rastlanırken, askıda katı madde miktarının

yoğunluğuna dikkat çekmişlerdir. Çalışmada, askıda katı maddenin yoğunluğu aynı zamanda ışık geçirgenliğini azalttığından yüzey sularının derinlere göre daha sıcak olduğuna değinilmiştir. Yapılan araştırma sonuçları incelendiğinde Haliç'in kirletici parametrelerin her biri için riskli bir bölge olduğu ve bu nedenle takiplerinin yapılmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Haliç'in sedimanlarında mikroplastik kirliliğinin araştırılmasıdır. Çalışma kapsamında, Haliç'te belirlenen yedi istasyondan Mayıs 2017 ile Şubat 2018 tarihleri arasında bir yıl boyunca mevsimlik olarak sediman numuneleri alınmıştır. Çalışma kapsamına >5 mm plastikler de dahil edilerek, sediman numunelerinde tespit edilen plastiklerin ve mikroplastiklerin boyut, renk, tip ve ağırlık olmak üzere morfolojik özellikleri incelenmiştir. Bunun yanı sıra mikroplastiklerin polimer yapıları da belirlenmiştir. Elde edilen tüm veriler olası kirlilik kaynakları da göz ününde tutularak değerlendirilmiş ve Haliç'te plastik kirliliği ile ilgili mevcut durum tartışılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. PLASTİKLER

Petrol ve doğal gaz gibi doğal kaynaklardan elde edilen hidrokarbonların kullanımı ile üretilen plastikler, yüksek molekül ağırlıklı organik moleküllerden veya polimerlerden oluşmaktadır. Polimerler, monomer olarak adlandırılan her bir küçük molekülün birbiriyle kimyasal olarak bağlanması sonucu meydana gelmektedir. Plastik ismi ise, istenilen şekle girebilen anlamında kullanılan yunanca "plastikos" kelimesinden gelmektedir (Kılıç ve Yüce, 2014).

Plastiklerin ilk ürünü pamuk artıklarından elde edilen ve insanların sindiremediği bir karbonhidrat olan selülozdan türetilmiştir. 1868'de İngiliz Kimyacı Alexander Parkes tarafından, kolayca kalıplanabilen ve biçimlendirilebilen, "Parkenise" adlı bir plastik hazırlamış ancak üretimi konusunda başarı sağlanamamıştır. 1870 yılında Amerika'da John Wesley Hyatt tarafından üretilen selüloid yarı sentetik plastiğin ilk başarılı örneğidir. Parkenise'den farklı olarak hint yağı yerine kafurun kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu madde, fotoğraf filmi, gözlük çerçeveleri, bilardo topları, taraklar ve bıçak gibi birçok ürünün yapımında kullanılmıştır. Selüloz nitrat ve türevlerinin yanıcı özelliğe sahip olması nedeniyle 1900'lerin başında yerini selüloz asetata bırakmıştır. 1907 yılında Belçikalı kimyager Leo Baekland, kendi tasarladığı ve adına "bakalizer" dediği bir düzenekle farklı sıcaklık ve basınçlarda uçucu kimyasalların tepkimelerini kontrol ederek çok sert ve koyu renkli bir plastik olan bakaliti üretmiştir. Bu madde tümüyle sentetik olan ilk plastiktir. "Aynı zamanda ilk termoset plastik de olan bakalit yanmayan, erimeyen ve bilinen çözücülerle çözünmeyen, sertleştikten sonra değişmeyen bir yapıya sahiptir. Fenol formaldehit reçinesi olan bu malzeme telefon ahizeleri gibi plastik ürünlerin yapımında kullanılmıştır" (Kılıç ve Yüce, 2014). Herman Standinger 1922 yılında gerçekleştirdiği bir çalışma ile plastiklerin küçük moleküllerin birleştirilmesiyle oluşan dev moleküller ya da polimerler olduğunu kanıtlamıştır. Benzer moleküllerin polimer zincirleri oluşturacak biçimde bağlanması anlamına gelen polimerizasyon işlemi ile bu sektör hızlı bir şekilde gelişme göstermeye başlamıştır (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

1927'de selüloz asetat ve polivinil klorür, 1928'de polimetilmetakrilat, 1929'da üre-formaldehit reçineleri elde edilmiştir. Sonrasında 1932'de polietilen, 1934'te naylon, poliakrilonitril, stiren-akrilonitril ve polivinil asetat, 1937'de poliüretan, 1939'da teflon ticareti adıyla tanınan poli (tetrafloroetilen), 1941'de polietilen tereftalat ve orlon ticari adıyla tanınan poliakrilonitril fiber ile üretimler devam etmiştir. İkinci Dünya Savaşı'nın başlaması plastik sektörünün gelişmesine hız kazandırmıştır. 1950'lerde polivinil klorürün müzik plakları üretiminde kullanılması ise PVC tüketiminin önünü açmıştır (Kılıç ve Yüce, 2014).

Plastiklerin kullanımı sağladığı birçok avantajın etkisiyle 1970'ler itibari ile artış göstermiştir. "Kullanımlarını artıran başlıca nedenler arasında plastiklerin uzak mesafelere taşınmalarını sağlayan elverişli bir dayanıklılığa sahip olmaları, saydam hale getirilebilen türlerinin varlığı, ışığı geçirmeyen türlerinin yapımının kolay olması ve ambalaj malzemelerinin sıkıştırılarak rahat taşınabilir olması gelmektedir." Plastiklerin kolay biçimlendirilebilme ve kalıba dökülebilme özellikleri ürün üretimini kolaylaştırmaktadır. Katkı maddelerinin eklenmesi ile bileşenlerinin stabil hale getirilebilmesi, çeşitli amaçlar için kullanılabilir olmalarını sağlamaktadır. Aynı zamanda hafif olmaları, taşıma maliyetine etkilerini azaltmaktadır (Kılıç, 2010).

2.1.1. Plastiklerin Genel Özellikleri

Plastikler ısıtılınca kolayca yumuşayan ve erimeden biçimlendirilebilen bir esnekliğe sahiptirler. Aynı zamanda yumuşak halde iken kolayca şekil verilebilen bu maddeler soğuduklarında tekrar sertleşmektedir. Bu durum plastiklerin polimerik yapısından kaynaklanmaktadır. Plastikleri meydana getiren polimerler ısı altında gevşeyerek ayrılan, soğuduklarında iç içe geçerek sertleşen maddelerdir. Polimer zincirleri van der walls, london gibi zayıf bağlar veya hidrojen bağları, dipol-dipol etkileşimi gibi nisbeten daha güçlü bağlarla bir arada tutulmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Bütün plastikler polimerizasyon sonucu oluşan ürünlerdir. Plastiklerin büyük bir çoğunluğu fosil yakıt olan doğal gaz, petrol ve kömürden oluşmaktadır. Plastik yapımının ön işlemi bunların monomerlere çevrilmesidir. Bu monomerler etilen, propilen, benzen, para ksilen ve toluen gibi maddelerdir. Etilen gazı en yaygın olarak kullanılan monomerlerden birisidir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

Sıcaklık, basınç ve birçok kimyasalın etkisiyle ise plastik üretiminin ikinci aşaması başlamaktadır. Bu aşama polimerizasyon olarak adlandırılmaktadır. Monomerler, zincir oluşturacak biçimde birbirine bağlanmakta ve resinleri oluşturmaktadır. Etilenin, polietilene, propilenin, polipropilene, stirenin, polistirene dönüştüğü bu süreç ile polimer veya plastikler meydana gelmektedir. Polimerizasyon süreci belirli aşamalarda durdurularak belirli özelliklere sahip resinlerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Yüksek yoğunluklu polimerler taşınmaya elverişli olmaları nedeniyle kapların, boruların, tankların vb. yapımında, düşük yoğunluklular ise film, ambalaj, poşet vb. yapımında kullanılmaktadır. Polimerizasyon ürünleri doğrudan kullanılabildiği gibi katkı maddeleri ile esneklik, dayanıklılık, sıcağa dayanma, ultraviyole ışınlara dayanma gibi özellikleri artırılabilmektedir. Kimyasal açıdan farklılaşarak kendine has özelliklere sahip olan bu plastiklerden değişik malzemelerin üretilmesinde yararlanılmaktadır. Katkı maddeleri aracılığıyla plastiklerin renkleri de değiştirilmektedir. Bu katkı maddeleri plastiklerin %1'lik miktarını oluşturmakla birlikte bazı plastik tiplerinde renklendirici oranı %10'lara kadar yükselebilmektedir. Plastiklerin barındırdığı bu katkı maddelerinin çoğu ağır metaller ve toksik kimyasallar içermektedir (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

Amorf iç yapıya sahip olduklarından katı halden sıvı hale geçişleri yavaş bir şekilde gerçekleşen plastiklerin en önemli özelliklerinden biri ısıya karşı dayanımlarının düşük olmasıdır. Buna karşılık plastikler çevresel, atmosferik ve kimyasal etkilere karşı dayanım göstermektedir. Elektrik iletkenlikleri olmamakla birlikte düşükte olsa ısıyı iletebilmektedirler. Hafif, nem tutmayan ve kısmen yanıcı bir yapıya sahip olan plastiklerin yoğunlukları 0.8-2.2 g/cm^3 aralığında değişmektedir. Plastik hammaddelerinin üretilmeleri esnasında az enerjiye ihtiyaç duyulması ile geri dönüşüm ve yeniden kullanıma uygun yapıları kullanım alanlarını arttırmaktadır (Ekşi, 2007).

2.1.2. Plastiklerin Türleri

Plastikler, ısıtıldığında çözünmeyen ve erimeyen plastikler (termoset) ve ısıltıldığında eriyebilen plastikler (termoplastik) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

2.1.2.1. Termoset Plastikler

"Termoset terimi hem oda sıcaklığında hem de daha yüksek sıcaklıkta çapraz bağlı yapıya dönüşebilen anlamına gelmektedir. Termoset plastiklerde polimer zincirleri arasında çapraz bağlar olması sebebiyle bu malzemeler her sıcaklıkta katı olarak bulunurlar. Termoset plastikler; fenolik reçineler, furan reçineleri, aminoasitler, alkitler, doymamış asit poliesterleri, epoksi reçineler, poliüretanlar ve silikonlardır" (Kılıç ve Yüce, 2014).

2.1.2.2. Termoplastikler

"Termoplastikler ısıtıldığında eriyebilen düz ya da dallanmış polimerlerdir. Çapraz bağların olmaması nedeniyle ısıtıldığında polimer zincirleri arasındaki görece zayıf kuvvetler ortadan kalkar ve bu zincirlerin birbirleri üzerinden kolaylıkla kaymasıyla malzeme akışkan bir hal alır. Kullanılmış termoplastikler ısı ve basınç uygulanmasıyla geri dönüştürülüp yeniden üretimde kullanılabilirler. Termoplastikler genellikle her bir tür için kendisine has sıcaklıklar olan camsı geçiş sıcaklığı ve erime sıcaklığı arasında kullanışlıdır. Çünkü bu iki sıcaklık arasında kırılgan değildirler ve tam bir sıvı özelliği göstermezler" (Kılıç ve Yüce, 2014). Düşük yoğunluklu polietilen (DYPE), yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE), polistyrene (PS), polypropylene (PP), akrilonitril bütadien stiren (ABS), polyethylene tetrapythalate (PET veya PETE), polivinilklorür (PVC), polikarbonat(PC) termoplastik grubuna girmektedir (Sevencan ve Vaizoğlu, 2007).

Plastik Endüstrisi Topluluğu (SPI) tarafından 1988 yılında plastik tanımlama ve geri dönüşüm kodlama sistemi geliştirilmiştir. Uluslararası kullanılan bu kodlama sistemi plastik türlerine 1'den 6'ya kadar numara verilerek yapılmıştır. Plastik endüstrisi gelişim gösterdikçe bu özel kriterlere uymayan birçok yeni plastik türevi icat edilmiştir. "SPI, kodlamış olduğu altı plastiğin kombinasyon şeklinde kullanılması veya bunların dışında bir plastik kullanılması durumunda 7 numaralı kodu "diğer" malzemeler olarak tanımlamıştır. Bu geri dönüşüm kodları, üçgen geri dönüşüm sembolü içine yazılmış numaradan oluşmakta ve genellikle ürünün alt tarafında bulunmaktadır" (Yurtsever, 2014). Tablo 2.1'de farklı plastik türlerine ait özellikler incelendiğinde bazı plastiklerin sağlık üzerinde zararlı etkilerinin olmadığı ve geri dönüşüme uygun olduğu görülür iken bazılarının etkilerinin her iki açıdan da kötü olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1: Plastik tanımlama ve geri dönüşüm kodları (Yurtsever, 2014)

Plastik Kodu	Kısaltması	Plastik Adı	Morfoloji	Tekrar Kullanım	Geri Dönüşüm	Sağlık	Erime Sıcaklığı Tm (°C)
	PET, PETE	Polietilen tereftalat	Kristalin Termoplastik	Hayır	Çok iyi	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	250-260 Tg=800°C
	PE-HD, HDPE	Polietilen-yüksek yoğunluklu	Kristalin Termoplastik	Evet	Çok iyi	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	130
	PVC, V	Polivinil klorid (Vinil klorür CH_2 = CHCl)	Amorf Termoplastik	Hayır	İçindeki katkı maddeleri (Kurşun, DEHA (di (2-etilheksil) adipat), dioksinler, etilen diklorür, vinil klorür) nedeniyle çok az dönüştürülebilir.	Öğrenme güçlüğü, bağışıklık ve hormon bozukluğu, doğum kusurları, genetik değişikliklere neden olmaktadır.	Tg=800°C
	PE-LD, LDPE	Polietilen-düşük yoğunluklu	Kristalin Termoplastik	Evet	Genellikle geri dönüştürülemez.	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	110
	PP	Polipropilen (Propilen CH_3CH= CH_2)	Kristalin Termoplastik (Yarı şeffaf, beyaz)	Evet	Kolay dönüştürülemez.	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	160
	PS	Polistiren (Stiren C_6H_5CH= CH_2)	Amorf Termoplastik (Renksiz, saydam)	Hayır	Dönüştürülebilir. Ama ekonomik değildir.	Stirenin nörotoksin etkileri ve yağ dokuda depolanabilme özelliği vardır. Kırmızı kan hücreleri üzerinde, karaciğer, böbrek ve mide organlarına zararları bulunmaktadır.	240 Tg=70-1150°C
	Diğer	Polikarbonat Akrilik	Çeşitli	Hayır	Karışık plastikleri içerdiğinden kolay dönüştürülemez.	Etkileri plastiğin içindeki reçine ve plastikleştiricinin çeşidine göre değişir. Polikarbonat plastikten bisfenol-A (BPA) adıyla bilinen endokrin bozucu sızdığından zararlıdır.	-

2.1.3. Plastiklerin Kullanım Alanları

Günümüzde plastikler, yün, ipek, kauçuk, ahşap, kağıt, metal, cam ve pamuk, gibi birçok farklı ürünün yerini almış ve insan hayatının vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Plastiklerin kolay işlenebilir ve düşük maliyetli ürünler olmaları, teknolojik çalışmalarda önemli oranda tercih edilmelerini sağlamıştır (Kılıç ve Yüce, 2014). Bu nedenle plastik ürünler ev, mutfak ve büro eşyaları, inşaat malzemeleri, elektronik ürünler, kişisel kullanım malzemeleri gibi hemen her sektörde karşımıza çıkmaktadır (Ekşi, 2007).

Tablo 2.2: Plastiklerin türlerine göre kullanım alanları (Yurtsever, 2014; Vatansever, 2015)

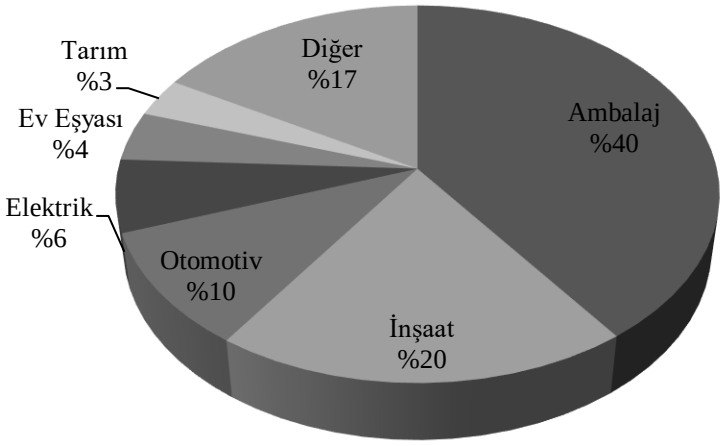
Plastik Adı	**Kullanım Alanları**
Akrilonitril bütadien stiren (ABS)	Elektronik aletler, otomotiv, mutfak gereçleri.
Akrilonitril stiren akrilat (ASA)	Otomotiv, elektrik/elektronik uygulamaları, bahçe ekipmanları aletleri, ev eşyaları.
Polyamid - Naylon (PA) 1.02-1.04 g/cm^3	Fiber, diş fırçası kılları, misina.
Polibütilen tereftalat (PBT) 1.31 g/cm^3	Tekstil, halı.
Polikarbonat (PC) 1.20-1.22 g/cm^3	Tıbbi aletler, su şişesi, kapak, bardak, çatal, mutfak gereçleri, otomotiv, CD, gözlük vb. imalatı.
Polietilen (PE) 0.917-0.965 g/cm^3	Yaygın kullanım. Paketleme, plastik mutfak ürünleri, otomotiv sanayi, altyapı malzemeleri, beyaz eşya ve makina parçaları, oyuncak ve tekstil.
Polietilen-yüksek yoğunluklu (PE-HD, HDPE) 0.94 – 0.96 g/cm^3	Yaygın kullanım. Temizlik maddeleri, çamaşır deterjanı ambalajı, bazı poşetler, şampuan ve süt şişeleri, borular, tanklar, varil, kablo yalıtımı, oyuncak.
Polietilen-düşük yoğunluklu (PE-LD, LDPE) 0.91 – 0.93 g/cm^3	Yaygın kullanım. Şişe, dondurulmuş gıda, ekmek ve market poşetleri.
Polietilen-doğrusal düşük yoğunluklu (PE-LLD)	Yaygın kullanım.
Polietilen tereftalat (PET, PETE) 1.37-1.45 g/cm^3	Yaygın kullanım. Pet şişe ismi bundan gelir. Şeffaftır. Su, meşrubat ve yemeklik yağ.
Polimetil akrilat (PMA) 1.22 g/cm^3	Kaplama malzemeleri, vernikler ve yapıştırıcılar.
Polimetil metakrilat, Akrilik, Pleksiglas (PMMA) 1.15-1.19 g/cm^3	Otomotiv farı, cihaz kapakları, levha, optik ekipmanlar, boya, elyaf, iplik ve ev dekorasyon ürünleri.
Polyester 1.24-2.3 g/cm^3	Tekstil endüstrisi.
Polioksimetilen, Asetal (POM) 1.41-1.61 g/cm^3	Elektrik ve sıhhi tesisat bağlantıları.
Polipropilen (PP) 0.83-0.90 g/cm^3	Yaygın kullanım. Otomobil yan sanayi, bahçe mobilyaları, yiyecek kabı, yoğurt ve margarin kapları, çocuk bezleri, biberon, yapay halı kaplama, bahçe mobilyası, vs.

Tablo 2.2 (devam): Plastiklerin türlerine göre kullanım alanları (Yurtsever, 2014; Vatansever, 2015)

Plastik Adı	**Kullanım Alanları**
Polistiren (PS) 0.96–1.05 g/cm^3	Yaygın kullanım. Gıda paketleme, elektronik ve beyaz eşya, film, levha, kaplar, kapaklar, et ve yumurta kutuları, şişe, köpüklü izolasyon, aydınlatma, buzdolabı, çamaşır makinesi parçaları, radyo televizyon kasaları, oyuncak, kozmetik kutuları, duvar kaplamaları, ambalaj, izolasyon.
Politetrafloretilen (Teflon-PTFE)	Mutfak gereçleri, kaplar.
Polistiren- genleştirilebilir (PS-E, EPS)	Elektronik, ambalaj, yalıtım, çatı ve cephe panellerde, dekoratif, döşeme, deponi alanları.
Poliüretan (PU, PUR) 1.2 g/cm^3	Dolgu köpükleri, ısı yalıtım köpükleri, yüzey kaplamaları, baskı silindirleri.
Polivinil klorid (PVC) 1.16-1.58 g/cm^3	Yaygın kullanım. Döşeme, ev dış cephe kaplaması, borular, streç film, yiyecek kaplama, şişe, bardak, suni deri, kredi kartı, spor malzemeleri.
Poliviniliden klorid (PVDC) 1.63 g/cm^3	Yiyecek paketleme, evsel, endüstriyel gereçler.
Stiren-akrilonitril (SAN)	Mutfak gereçleri, buzdolabı parçaları, raf ayraçları, ışık kapakları, kozmetik ambalajı.

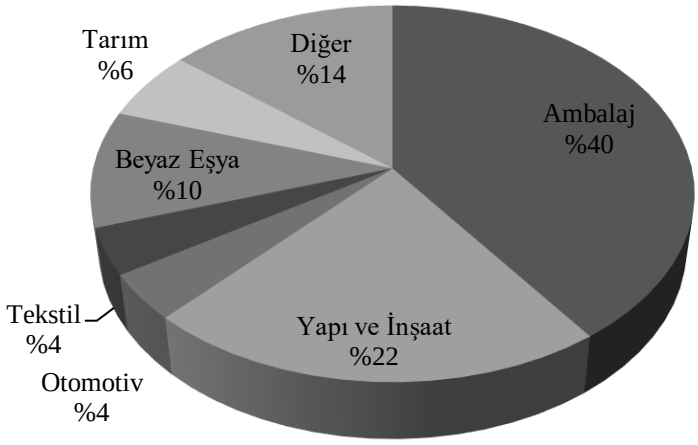
Otomotiv sektöründe son yıllarda gerçekleşen yenilikler ile plastik kullanımı çok yaygınlaşmıştır. Plastikler otomobillerde yakıt sisteminde, iç ve dış aksamda, şasede, motor parçalarında ve elektrik donanımında kullanılmaktadır. Otomobillerde plastik kullanımının yirmi yıl öncesine göre %100'lük bir artış gösterdiği, otomobil aksamının %40'a yakınının plastik malzemeden oluştuğu görülmektedir. Günümüzde 5000'den fazla polimerin, karışımın, alaşımın ve bileşiğin özellikleri, plastik kullanmadan üretilmesi mümkün olmayacak kompakt disk, televizyon, tıbbi aletler gibi ürünlerin yapımını sağlamaktadır (Kılıç, 2010).

Dünya'da plastiklerin kullanım alanları incelendiğinde en büyük payları ambalaj ve inşaat sektörünün aldığı görülmektedir. Şekil 2.1'de diğer olarak adlandırılan grubu, özellikle makine endüstrisi ile tıp ve mobilya sektöründe kullanılan aletler oluşturmaktadır (PlasticsEurope, 2017). Daha iyi tasarımlara imkân verebilmeleri, olağanüstü yalıtım özelliğine sahip olmaları, parçaların mümkün olan en küçük boyutta imal edilebilmesi, montaj kolaylığı ve hafif bir depolama ortamı sağlamaları, plastiklerin elektrik ve elektronik sektöründe kullanılmasının nedenlerini oluşturmaktadır (Kılıç ve Yüce, 2014).



Şekil 2.1: Dünyada plastiklerin kullanım alanları (PlasticsEurope, 2017)

Türkiye'de plastiklerin kullanım alanlarında birinci sırayı dünyada da olduğu gibi ambalaj sektörü almaktadır. Onu sırasıyla yapı-inşaat ve beyaz eşya sektörleri takip etmektedir (PAGEV, 2017). Türkiye'de plastiklerin kullanım alanları Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2: Türkiye'de plastiklerin kullanım alanları (PAGEV, 2017)

2.1.3.1. Dünya Plastik Sektörü

Yüksek kaynak verimi, düşük üretim, geri kazanım maliyeti, tasarım ve uygulama zenginliği nedeni ile plastik üretimi tüm dünyada 50 yıldır hızla gelişimini sürdürmektedir. Plastik ürün üretimi küresel anlamda bir başarı olarak kabul edilmektedir. 1950 yılında 1.5 milyon ton olan plastik malzeme üretiminin 2010-2014 yılları arasında %4.1 büyüme hızı ile artarak 2015 yılında 325 milyon tona çıktığı düşünülmektedir. 2016 yılında ise 2015 yılına kıyasla üretimin %3 arttığı ve 335 milyon ton olarak gerçekleştiği tahmin edilmektedir (PAGEV, 2016).

Tablo 2.3: Dünya plastik ürün üretiminin bölgesel dağılımı (PAGEV, 2016)

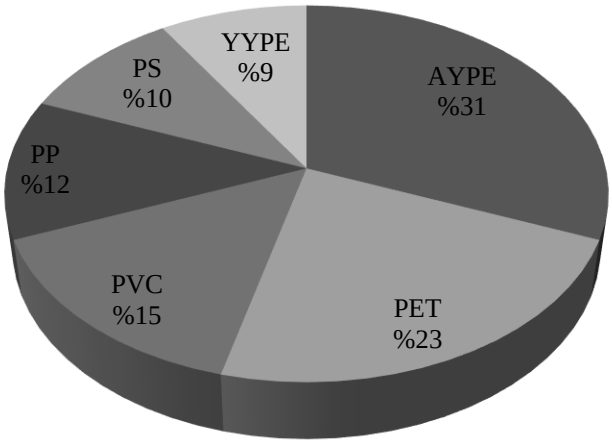
Bölgeler	% Pay	Üretim (Milyon Ton)
Çin	25	84
Avrupa	21	70
Nafta Ülkeleri	20	67
Diğer Asya (Çin Hariç)	16	54
Orta Doğu+ Afrika	8	27
Latin Amerika	7	23
Diğerleri	3	10
Toplam	100	335

Dünya toplam plastik hammadde dış ticaret hacmi ise 2012-2015 yılları arasında miktar bazında %3.3 bileşik ortalama büyüme hızı (CAGR) ile artmış ve değer bazında da %2.3 azalarak 2015 yılında 348 milyon ton ve 552 milyar dolar seviyesinde gerçekleşmiştir. Toplam dış ticaret hacminin 2016 yılında 359 milyon tona ve 540 milyar dolara çıktığı tahmin edilmektedir (PAGEV, 2016).

2.1.3.2. Türkiye Plastik Sektörü

Plastik sektörü, Türkiye ekonomisinin en önemli aktörlerinden birisidir. 2013 yılında 8.3 milyon ton ve 35.2 milyar dolar olan plastik mamul üretimi son 5 yılda, yılda ortalama miktar bazında %3.7, değer bazında da % 1.1 artarak 2017 yılında 9.6 milyon ton ve 36.8 milyar dolara çıkmıştır. 2017 yılında plastik mamul sektöründe 8.6 milyon ton ve 35.6 milyar dolarlık iç pazar tüketimi gerçekleşmiştir. Tüketim 2017 yılında 2016 yılına kıyasla miktar bazında %8.9, değer bazında da % 9.2 artış göstermiştir. 2017 yılında gerçekleşen 8.6 milyon tonluk plastik mamul iç tüketimin yaklaşık 4 milyon 300 bin tonu otomotiv, ambalaj, inşaat ve elektronik gibi ihracatçı sektörler kanalı ile yarı mamul ve mamul şeklinde dolaylı olarak ihraç edilmiştir. Kalan 4 milyon 300 bin tonluk kısım ise doğrudan tüketici tarafından tüketilmiştir (PAGEV, 2017).

2017 yılında toplam plastik hammadde üretiminin 1 milyon 14 bin ton civarında gerçekleştiği tahmin edilmektedir. Şekil 2.3 incelendiğinde Türkiye'de 2017 yılında üretilen toplam plastik hammaddesinin büyük bir çoğunluğunu %31'lik pay ile düşük yoğunluklu polietilenin ve %23'lük pay ile polietilen tereftalatın oluşturduğu görülmektedir (PAGEV, 2017).



Şekil 2.3: Türkiye'de plastik hammadde üretimi (PAGEV, 2017)

2.2. PLASTİK ATIKLAR

Plastik, ambalajlama, tarım, su tasfiyesi, inşaat, telekomünikasyon, eğitim, ilaç, ulaşım, savunma ve dayanıklı tüketim malları gibi insan hayatının her alanında aktif rol oynamaktadır. Plastiklerin işlenme kolaylığı nedeniyle sahip oldukları üretime elverişli özellikleri bu kadar popüler olmalarının nedenlerinden biridir. Bu nedenle, yaşam kalitesini iyileştirmek için modern yaşamda plastiklere olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Şehirlerin katı atıklarındaki plastik atık miktarı, nüfus artışı, kalkınma faaliyetleri, sosyoekonomik imkanlar ve yaşam tarzlarındaki farklılıklara göre değişim göstermektedir (Singh ve Sharma, 2016). Yapılan çalışmalar sonucunda dünya çöplerinin %60-80'inin plastiklerden oluştuğu tahmin edilmektedir (Thomas ve diğ., 2014; Avio ve diğ., 2017).

Teknolojik gelişmelerin artması ile birlikte yüksek kaliteye sahip malzemelerin üretimi için talep arttıkça, plastik endüstrisi bunları tedarik etmeyi amaçlayacaktır. Bu nedenle gelişmekte olan ülkeler plastik üretimi ve kullanımı ile ilgili gelecek planlamalarını yaparak atık yönetimi

altyapılarını ona göre düzenlemelidir. Plastiklerin dayanıklılık, hafiflik ve düşük maliyet gibi değerli özellikleri oluşan plastik atık miktarının da artmasına neden olmaktadır. Çoğu durumda, özellikle ambalaj ve paketleme plastikleri bir kullanımdan sonra atık haline dönüşmektedir. Bu atıklar dayanıklı oldukları için çevrede uzun süre yok olmadan kalmaktadır. Özellikle denize ulaşan plastikler düşük yoğunlukları dolayısıyla yüzeyde yoğun kirlilik oluşturmaktadır (In-depth Report, 2011).

Bilim adamları ve medya tarafından plastik atıklara daha fazla önem verilmesindeki en etkili faktörlerden biri 1990'ların sonlarında Charles Moore tarafından keşfedilen Büyük Pasifik Çöp Yığını'dır. Bu, Kaliforniya ile Hawaii arasında yüzen ve yaklaşık 3.43 milyon km^2 (Avrupa'nın büyüklüğü kadar) olduğu tahmin edilen bir çöp tabakasıdır. Bu tabakanın çoğunluğunu büyük terkedilmiş balık ağlarının, plastik şişelerin ve küçük plastik parçacıkların (mikroplastikler) oluşturduğu gözlenmiştir. Denizlerdeki bu yığınlar "plastik çorba" olarak bilinmektedir. Bu durum, deniz çöpü ve plastik atık problemini ülkelerin gündemine getirmiş ve azaltılmaları için yapılacak çalışmalar gelecek politikalarda öncelikli yer edinmiştir (In-depth Report, 2011).

California Üniversitesi'nde çalışan çevrebilimciler ve meslektaşları tarafından yapılan bir çalışmada ilk kez küresel anlamda ne kadar plastik üretildiği, bunların nasıl kullanıldığı ve bunun sonucunun nereye varacağı değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar aşağıda özetlenmektedir (Amos, 2017).

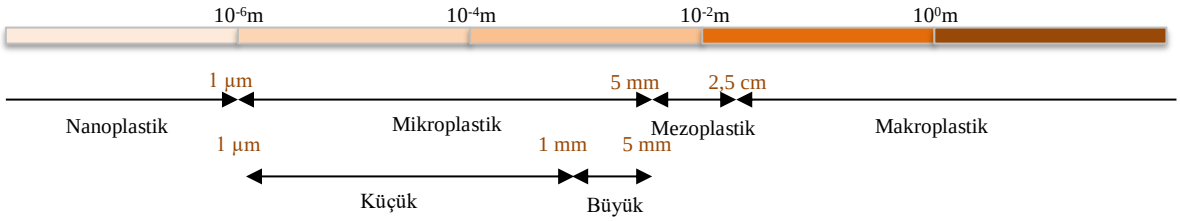
- Yarı miktarı sadece son 13 yılda üretilmiş olmakla birlikte toplam 8.3 milyon ton plastik üretilmiştir.
- Yıllar içinde üretilen plastiğin bugün sadece %30'u kullanımdadır.
- Atılan plastiğin sadece %9'u geri dönüşüme sokulmaktadır.
- %12'si yakılan plastiklerin, %79'u katı çöp depolama alanlarına gönderilmiştir.
- Genellikle 1 yıldan az bir kullanım ömrüne sahip paketleme plastikleri, en az kullanımda kalanlardır.
- En uzun süre kullanımda olan plastikler inşaatta ve makine endüstrisinde kullanılanlardır.
- 2050 yılında plastik çöpünün 12 milyar tona ulaşması beklenmektedir.

- Geri dönüşüm oranları (2014 rakamları) plastik üretim ve tüketimin yoğun olduğu Avrupa, Çin, ABD gibi bölgelerde sırasıyla %30, %25 ve %9'dur.

2.3. MİKROPLASTİKLER

Okyanuslarda yüzen plastiklerin küçük parçaları ilk olarak 1972'de Carpenter ve ark. tarafından yapılan çalışmalar ile bilimsel literatüre giriş yapmıştır (Cole ve diğ., 2011; GESAMP, 2015). Daha sonra Harper ve Fowler'in 1987'de yaptığı yayınlarda 1960'larda kuşlardaki plastik parçalarını tanımlayan çalışmalar anlatılmıştır. "Mikroplastik" teriminin ilk olarak deniz çöpü ile ilgili olarak kullanıldığı ise kesin değildir. Buna rağmen Ryan ve Moloney (1990) tarafından Güney Afrika plajlarında ve 1990'larda Deniz Eğitim Derneği'nin deniz suyunda yaptığı araştırma sonuçlarında küçük plastik parçalarının dağılımı tanımlanmaktadır (GESAMP 2015). Mikroplastik terimi ilk kez Thompson ve diğ. (2004) tarafından deniz suyu üzerinde yapılan çalışmalarda mikroskobik plastik parçalarına işaret etmek için kullanılmıştır (Van Cauwenberghe ve diğ., 2015). O tarihlerde bu küçük plastik parçacıklar için boyut tanımı önerilmemiş, sadece mikroskop yardımıyla kolayca tespit edilebilen şeklinde bir tanımlama yapılmıştır. Ancak, resmi olarak tanınmamış olmasına rağmen, mikroplastiklerin tanımlanmasında milimetrik boyut aralığı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (GESAMP, 2015).

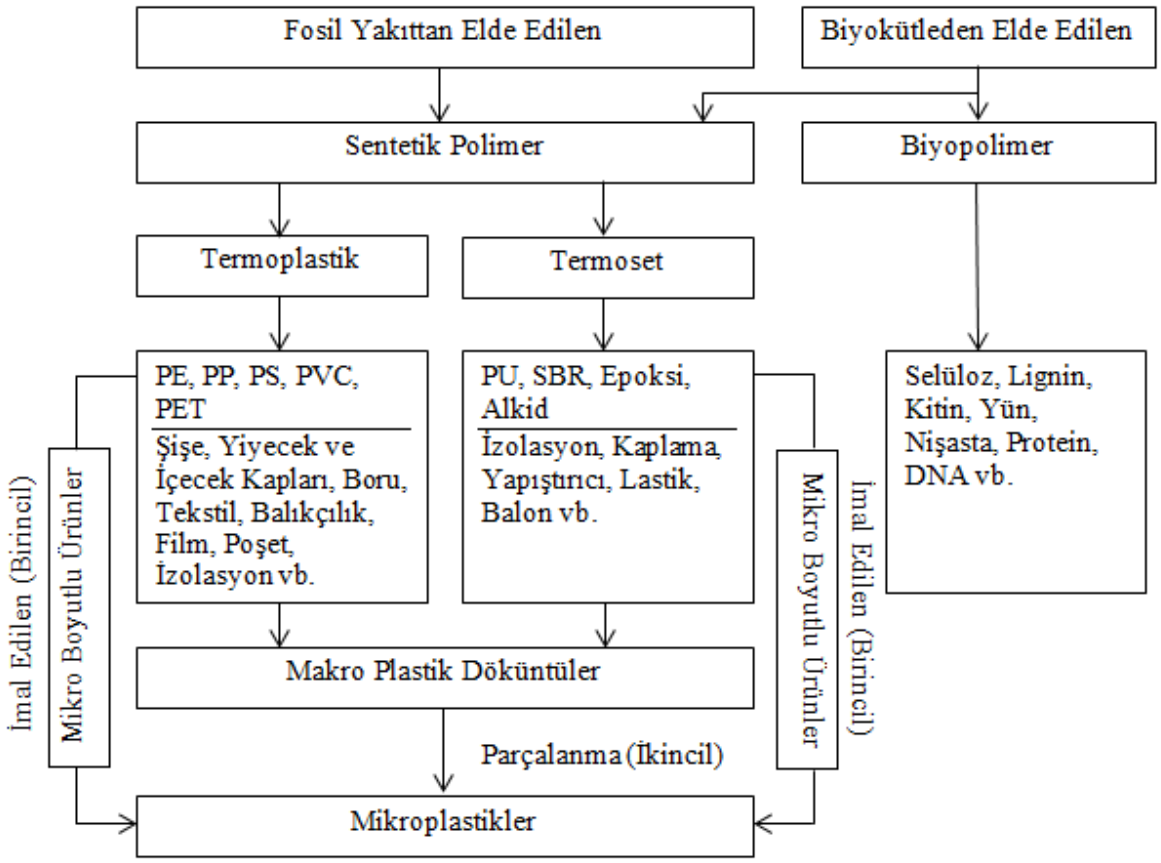
İncelenen çalışmalarda araştırmacılar tarafından mikroplastikler için kabul edilen boyut aralıklarının farklılık gösterdiği belirlenmiştir (Cole ve diğ., 2011; Van Cauwenberghe ve diğ., 2015; Anderson ve diğ., 2016; Avio ve diğ., 2017). Bununla birlikte yapılan değerlendirmelerin sonucunda genel olarak 5 mm'den küçük parçacıkların mikroplastik olarak kabul edildiği görülmektedir (Thomas ve diğ., 2014; Van Cauwenberghe ve diğ., 2015; GESAMP 2015; Anderson ve diğ., 2016; Auta ve diğ., 2017). Uluslararası bilimsel araştırma toplulukları tarafından kabul edilmesi için henüz resmi olarak önerilmemiş olmasına rağmen, plastik parçalarının boyutları için nano-, mikro-, mezo- ve makro- olarak yapılan sınıflandırma Şekil 2.4'te gösterilmektedir (Van Cauwenberghe ve diğ., 2015).



Şekil 2.4: Plastik parçalarının boyutlarının tanımlanması (Van Cauwenberghe ve diğ., 2015)

2.3.1. Mikroplastiklerin Kaynakları

Dünyada bir yılda üretilen plastik atığın yaklaşık %2'si denizlere ulaşmaktadır (TÜDAV, 2017). Atıkların denize ulaşımı iki şekilde gerçekleşmektedir. İlki ticari balıkçılık ve yasadışı çöp dökme gibi denizcilik faaliyetleri ile meydana gelmektedir. İkincisi ise kara kaynaklı ve kumsallarda insan faaliyetleri ile oluşan atıkların nehirler, yağmur suları, fırtınalar ve atık su deşarjları ile denizlere taşınmasıdır. Yoğun nüfuslu bölgelerde, denizde biriken plastiğin çoğunun karasal kaynaklardan geldiği düşünülmektedir (Thomas, 2014). Su ortamına ulaşan mikroplastikler yoğunluk, boyut, şekil ve kimyasal yapıları gereği birbirinden farklılık göstermektedir. Kişisel bakım ürünlerinde yer alan mikro boyuttaki plastikler denizde birincil mikroplastik kaynağı olmaktadır (Auta ve diğ., 2017). Denize taşınan veya doğrudan atılan plastik atıklar akıntılar ile açık denizlere sürüklenerek büyük girdaplar halinde toplanmaktadır. Uzun yılları alan bu yolculuk esnasında büyük plastik parçaların sürtünme ile küçülmesi, güneş ile parçalanması ve bakteriler tarafından absorbe edilmesiyle ise ikincil mikroplastikler oluşmaktadır (TÜDAV, 2017).



Şekil 2.5: Mikroplastiklerin meydana gelme aşamaları (GESAMP, 2015)

2.3.1.1. Birincil Mikroplastikler

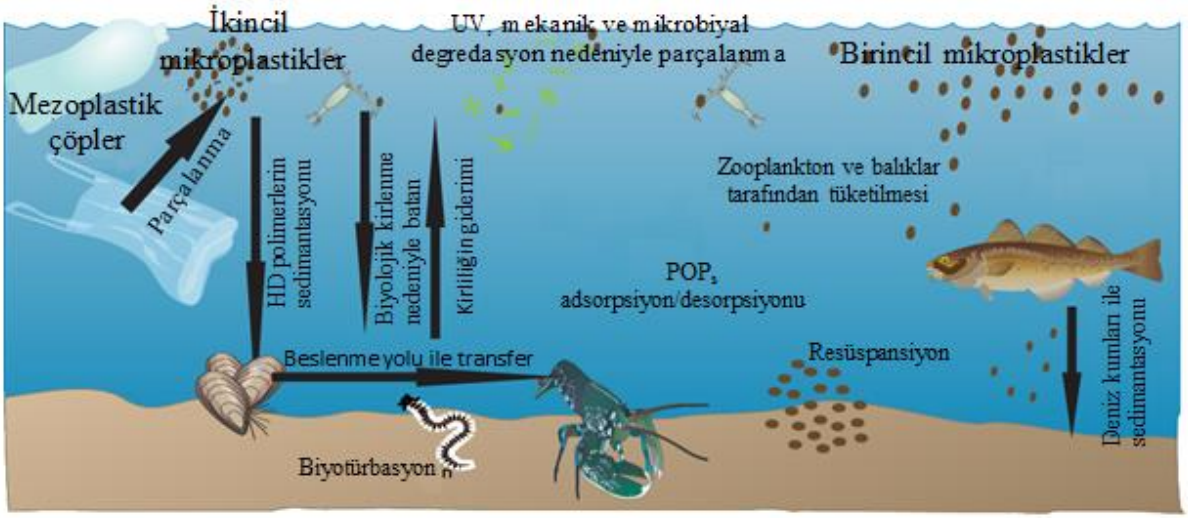
Birincil mikroplastikler çeşitli endüstrilerde işlenen ve günlük hayatımızda kullandığımız ürünlerde yer alan mikroskobik boyuttaki plastiklerdir. Diş macunları, yüz temizleme ve duj jelleri, temizlik malzemeleri, saç boyaları, allık, rimel, oje gibi makyaj ürünleri, tıraş kremleri, bebek ürünleri, nemlendirici kremler, böcek kovucu spreyler ve sentetik giysiler bünyelerinde mikroplastik barındırmaktadır (GESAMP, 2016; Auta ve diğ., 2017). Yapılan çalışmalar özellikle kozmetik ürünlerde ‘‘mikro boncuk’’ olarak tanımlanan plastiklerin yoğun bir şekilde bulunduğunu ve atık su arıtma tesislerine gelen bu mikroplastiklerin tesisteki mevcut arıtma kademelerinde giderilemeden alıcı ortamlara deşarj edildiğini göstermektedir (Talvitie ve diğ., 2017). Aynı zamanda plastik ürün üretiminde hammadde olarak değerlendirilen, boyutları 5 mm’den küçük, silindirik veya küresel şekle sahip ‘pelet’ olarak tanımlanan mikroplastikler de yaygın olarak kullanıldığından üretim ve taşınma aşamaları esnasında kazara denize dökülerek veya kontrolsüzce sulara verilerek birincil kaynaklar arasına girmektedir (GESAMP, 2015; Auta ve diğ., 2017). Peletler dayanıklı oldukları ve üzerinde

kalıcı organik kirleticileri adsorblayabildikleri için bu kirleticilerin besin zincirine girmesinde taşıyıcı görev almaktadır (Acosta-Coley ve Olivero-Verbel, 2015).

2.3.1.2. İkincil Mikroplastikler

Denizler ve karalar üzerinde bulunan büyük plastiklerin parçalanması ve ayrışması ile oluşan küçük parçalar ikincil mikroplastikleri oluşturmaktadır. Bu parçalanma ve ayrışma süreci sıcaklık, güneş ışığı gibi çevresel faktörlere göre değişim gösterdiği gibi plastiğin boyutu, kırılganlığı ve yoğunluğu gibi yapısal özelliklerinden de etkilenmektedir (GESAMP, 2015; Auta ve diğ., 2017). Plastiklerin denizel mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen biyodegradasyonu ise parçalanma ve bozulma hızına göre daha yavaş gerçekleşmektedir (GESAMP, 2016).

Hem birincil hem de ikincil mikroplastikler deniz ekosisteminde yüksek miktarda bulunmaktadır. Mikroplastiklerin rengi, şekli, boyutu ve bolluğu deniz organizmaları tarafından tüketimlerini de etkilemektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar incelendiğinde deniz biyotasında yüksek miktarlarda mikroplastik tespit edildiği görülmektedir (Thomas ve diğ., 2014; Van Cauwenberghe ve diğ., 2015; Auta ve diğ., 2017). Mikroplastiklerin su ortamında potansiyel hareketleri ve biyolojik etkileşimleri Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Mikroplastiklerin su ortamındaki potansiyel hareketleri ve biyolojik etkileşimleri (Thomas ve diğ., 2014)

2.3.2. Mikroplastiklerin Sınıflandırılması

Mikroplastikleri inceleme çalışmalarında ilk olarak uygun analiz yönteminin belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir. Tespit edilen mikroplastikler sonrasında Tablo 2.4'te verildiği gibi boyutu, tipi, şekli, rengi, aşınma durumu ve polimer tiplerine göre sınıflandırılmaktadır. Mikroplastiklerin özellikleri, dağılımlarını ve çevreye olan etkilerini belirlemektedir. Örneğin, yoğunluğu yüksek olan plastik parçacıklar daha hafif mikroplastiklere göre sediman parçacıkları ile temas halindeyken daha fazla zaman harcayarak ve daha kuvvetli bir şekilde çarpışarak aşınırlar. Aynı şekilde düşük yoğunluklu plastiklerin deniz yüzeyinde dağılım ve taşınımları daha hızlı olurken, yüksek yoğunluklu plastikler daha derinlerde görülebilmektedir. Bu gibi farklılıklar, mikroplastik parçacıkların bozunma hızlarını, yüzey özelliklerini ve şekillerini etkileyebildikleri için önem taşımaktadır. (Hidalgo-Ruz ve diğ., 2012).

Tablo 2.4: Mikroplastiklerin tanımlanması için kullanılan kategoriler (Hidalgo-Ruz ve diğ., 2012)

Kategoriler	Mikroplastik Özellikleri
Tip	Plastik parçaları, peletler, lifler, filmler, köpükler, granüller ve straforlar
Şekil	Pelet şeklinde olanlar: silindirik, diskler, düz, oval, küresel Parça şeklinde olanlar: yuvarlak, yarı yuvarlak, köşeli, yarı köşeli Genel: şekilsiz, uzun, parçalanmış, pürüzlü ve kırık kenarlı
Renk	Şeffaf, kristalin, beyaz, açık-beyaz-krem, kırmızı, turuncu, pembe, mavi, lacivert, yeşil, opak, siyah, gri, kahverengi, sarı ve renkli.
Aşınma	Yeni, bozunmamış, pürüzlü yüzey, doğrusal kırıklar, yarı paralel çıkıntılar, yeni başlayan değişim ve çizik yüzey (konkoidal kırıklar), oyuklu, pürüzsüz yüzey, bozunmuş ve çok bozunmuş olanlar
Polimer Tipi	Polietilen, polipropilen, polistiren, polyamid, polyester, akrilik, polivinil klorür, polietilen tereftalat vb.

Mikroplastiklerin tanımı boyut üzerinden yapıldığından kategorize edilirken ilk ele alınan konu boyutlarının belirlenmesidir. 1µm ile 5 mm arasında kalan plastik parçalar, mikroplastik olarak tanımlanmakla birlikte bunların 1µm ile 1 mm arası küçük, 1 mm ile 5 mm arası büyük kabul edilmektedir (Van Cauwenberghe ve diğ., 2015). Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde boyut tespiti için belirlenen sınıf aralıklarının araştırma yapılan bölgeye göre değişim gösterdiği görülmektedir (Martins and Sobral 2011; Hidalgo-Ruz ve diğ., 2012; GESAMP 2015).

Mikroplastikler tip ve şekil açısından değerlendirildiğinde pelet ve lif tipi plastiklerin deniz çevresinde yoğun olarak tespit edildiği görülmektedir. Haliç ve gelgit sedimanlarında bulunan çoğu plastikler liflerden oluşmakla birlikte kanalizasyon deşarjları ve kanalizasyondan alınan çökelti örneklerinde de polyester ve akrilik liflerin fazlalığı dikkat çekmektedir. Mikroplastiklerin şekilleri çevrede kalma sürelerine ve maruz kaldıkları aşınma durumlarına bağlı olarak değişir. Örneğin deniz kıyılarında rastlanan keskin kenarlı ve büyük bir parçacık o mikroplastiğin denize yeni girmiş olduğunu veya kenarları yuvarlanmış, pürüzsüz ve küçük bir plastik ise sedimanda uzun süre kalarak biyolojik bozulma, fotodegradasyon, kimyasal ayrışma veya fiziksel kuvvetler (dalga, rüzgar, kum) ile aşınarak pürüzsüz hale geldiğini gösterebilir (Hidalgo-Ruz ve diğ., 2012; Yurtsever, 2015).

Renk parametresi mikroplastiklerin büyük miktarda döküntüler içerisinde ayırt edilebilmesini kolaylaştırmaktadır. Yapılan çalışmalar renklerin aynı zamanda mikroplastiklerin kimyasal yapısı hakkında da bilgi verdiğini göstermektedir. Örneğin, şeffaf renkli peletler polipropilen olarak tanımlanırken beyaz renkli peletler polietilen olarak tespit edilmektedir. Renk mikroplastiklerin polimer yapısının belirlenmesi için sadece bir tahmin kolaylığı sağlamakla birlikte asıl analiz yöntemleri elektron mikroskobu, Raman spektroskopisi ve Fourier Transform Infrared (FTIR) spektroskopisidir. Bunlar içerisinde en yaygın kullanılan yöntem ise FTIR spektroskopisidir (Hidalgo-Ruz ve diğ., 2012). IR spektrumu, maddeyi oluşturan atomlar arasındaki bağların titreşimiyle oluşan frekanslarına karşılık gelen absorpsiyon pikleri ile numunenin parmak izini göstermektedir. Her maddenin kendine has bir spektrumu vardır. Organik madde spektrumlarının özellikle de 2000 cm^{-1}'den sonra gelen kısmı daha ayrıntılıdır. Bu bölgeye parmak izi bölgesi denilmekte ve spektrumu iki kat genişleterek alınmaktadır. Böylece madde hakkında daha detaylı bilgi elde edilebilmektedir (Büyüksırıt ve Kuleaşan, 2014).

3. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Mikroplastikler ile ilgili yapılan çalışmalar dünyada hız kazanmış olsa da literatürler incelendiğinde henüz yeterli verilere ulaşılamadığı görülmektedir. Özellikle ülkemizde bu konu üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Haliç'te mikroplastik kirliliğinin incelenmesi ilk kez bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmekte olup, elde edilen verilerin gelecek çalışmalar için de önemli bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında dikkate alınan literatürler aşağıda detaylandırılmıştır.

Auta ve diğ. (2017) tarafından yapılan derleme çalışması mikroplastiklerin kaynaklarını, okyanus sularındaki dağılımlarını, sedimandaki ve deniz tuzundaki miktarlarını ve deniz biyotasına olan etkilerini kapsamaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalara göre denizlerde mikroplastiklerin yoğun miktarda arttığı ve buna bağlı olarak deniz canlıları tarafından besin olarak tüketilmesinin büyük bir tehdit oluşturduğu üzerinde durulmuştur. Mikroplastik probleminin azaltılmasının ancak kamuoyunun, sosyoekonomik yapıların, turizm ve atık yönetimi ile ilgili şirketlerin katılımı ile mümkün olabileceğine dikkat çekilmiştir.

Gündoğdu ve Çevik (2017), Mersin ve İskenderun Körfezi'nde yaptıkları çalışmalarında su yüzeyinde mikro ve mezoplastik kirliliğini araştırmışlardır. Yedi istasyonda m^2'de ortalama 0.376, toplamda ise 1770 adet plastik parçacık belirlenmiştir. Elde edilen plastikler boyut, tip ve renkleri açısından değerlendirilmiştir. Plastik parçacık, lif, köpük, granül ve film olarak sınıflandırdıkları plastikler içerisinde en fazla plastik parçacık (sert plastik) tipi saptanmıştır. 15 farklı rengi rapor ettikleri araştırmada şeffaf renkli plastiklerin baskın olduğu sonucu elde edilmiştir. Sonuç olarak mikroplastik kirliliğinin dikkat edilecek seviyede olduğuna ve kaynaklarının azaltılması için önlemlerin alınması gerektiğine değinilmiştir.

Gürbüz (2017), Marmara Denizi'nde mikroplastik karakterizasyonu ve dağılımını araştırdığı çalışmasında toplam dokuz istasyonda, deniz yüzeyi, su kolonu ve sedimanda örnekleme yapmıştır. Deniz yüzeyinde mikroplastik miktarı 2373 adet/m^2, su kolonunda ise 1405 adet/m^2 olarak bulunmuştur. Sedimanda biriken plastik miktarı 2044 adet/m^2 olarak tespit edilmiştir. Plastik parçacıkların koylarda ve nehir etki alanlarında daha fazla birikim

gösterdiğinin saptandığı araştırmada lif tipi plastiklerin yoğun olduğu, bunu sert plastiklerin ve boya parçalarının takip ettiği belirtilmiştir. Araştırma sonucunda Marmara Denizi'nde mikroplastik kirliliğinin takip edilmesini ve gerekli önlemlerin alınması önerilmiştir.

Güven ve diğ. (2017), Akdeniz'de mikroplastik kirliliğini belirlemek için Mersin ve İskenderun Körfezi'nden aldıkları balık, su ve sediman örneklerini incelemişlerdir. Toplam 1337 adet balığın mide ve bağırsağında 1822 mikroplastik parçacık tespit edilmiştir. Balıkların yuttukları bu parçacıkların %70'inin lif, geri kalanının sert plastik, naylon, kauçuk ve çeşitli plastik türleri olduğu saptanmıştır. Su ve sediman örneklerinde çapları 0.034 mm ile 4.98 mm arasında değişen toplam 1517 mikroplastik parçası belirlenmiştir. Deniz yüzeyinde tüm plastik tipleri görülürken, su kolonunda bir tek köpük tipi plastiklere rastlanılmayan çalışmada sedimanda yoğun olarak lif ve sert plastik parçacıklar tespit edilmiştir. Araştırmada daha yüksek sayıda mikroplastik parçası yutmuş olan balıkların, deniz suyunda ve sedimanda daha yüksek parçacık sayısına sahip olan bölgelerde bulunduğu belirtilmiştir.

Frias ve diğ. (2016) yaptıkları çalışma ile Güney Portekiz kıyılarında mikroplastik miktarı ve yapısını incelemişlerdir. Sediman numunelerinden (27 adet numune) mikroplastikler ayrılmış, miktarını belirledikleri mikroplastiklerin mikro FTIR yardımıyla da polimer yapısını tespit etmişlerdir. Lif yapısında olan mikroplastiklerin bölgede yoğun olarak bulunduğunu, lifler arasında sentetik selüloz, plastik parçaları arasında ise polipropilen plastik tiplerinin baskın olduğu belirlemişlerdir. Su ve sediman örneklerinde mikroplastiklerin dağılımlarının incelenmesi için daha ileri çalışmaların yürütülmesi önerilmiştir.

GESAMP Deniz Çevresinde Mikroplastiklerin Kaynakları, Mevcut Durumu ve Etkileri: Bir Küresel Değerlendirme Raporu'nda (2015) mikroplastiklerin denizel ekosistem içerisindeki oluşumu, deniz suyu, sediman ve biyotada saptanmaları, kompozisyonlarının tanımlanması ile çevre ve canlılar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak ciddi bir tehdit olarak kabul edilen mikroplastiklerin gemi yollarına, şehir merkezlerine ve insan aktivitelerinin fazla olduğu bölgelere yakın olan yerlerde yoğun olduğu belirlenmiştir. Mikroplastik parçalarının çoğunda altı polimer türü saptanmıştır. Bunlar polietilen, polipropilen, genleşmiş polistirenden (yüzen) ve polivinil klorid, poliamit (naylon) ve polietilen tereftalattandır (PET). Bununla birlikte bu partiküllerin omurgasızlar, balıklar ve kuşlar tarafından yutulması ile

birlikte dokularının bu maddelere tepki gösterdiği ve hücrelerinde hasara neden oldukları üzerinde durulmuştur.

Yurtsever (2015), ülkemizde mikroplastiklerin çevreye ve canlılara olabilecek kötü etkilerine dikkat çekmek ve bu kirleticinin tanınmasına katkı sağlamak amacıyla mikroplastiklerin kaynakları, özellikleri ve sınıflandırılmasını araştırmıştır. Çalışmada özellikle kanalizasyon sistemleri ile arıtma tesislerine gelen ama yetersiz filtrasyon sistemleri nedeniyle sucul ekosistemlere karışan mikroplastiklere dikkat çekilmiştir. Ayrıca bu kirletici için ilgili bir standart ve modelleme programının olmaması önemli bir eksiklik olarak belirtilmiştir.

Thomas ve diğ. (2014), deniz ortamındaki mikroplastiklerin oluşumunu, dağılımını ve etkilerini incelemişlerdir. Mikroplastiklerin deniz suyunda, sedimanda ve deniz canlılarında bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan araştırmalarda çoğunlukla kişisel bakım ürünleri, plastik imalatı sırasında büyük plastik nesnelerin parçalanması ve sentetik malzemelerin liflerinin dökülmesinin mikroplastiklere kaynak oluşturduğu görülmüştür. Sedimanlar üzerinde bulunan döküntülerinin çoğunun plastik olduğu (%96'ya kadar) belirlenirken 120 partikül/L sediman olarak rapor edilmiştir. Sentetik liflerin su kolonunda ve sedimanda dominant tür olduğu saptanmıştır. Laboratuvar çalışmaları mikroplastiklerin canlılar tarafından yutulduğunu ve bunun onlar için zararlı olabileceği gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Mevcut çalışmaların mikroplastiklerin durumunu, dağılımını ve zararlı etkilerini saptamada henüz yetersiz olduğu sonucuna varılmıştır.

Thompson ve diğ. (2014) derin denizlerde mikroplastik kirliliği araştırmalarını Akdeniz, Hint ve Atlas Okyanusu'nda gerçekleştirmişlerdir. Alınan numunelerdeki mikroplastik miktarları belirlenmiş ve tespit edilen mikroplastiklerin kimyasal yapılarının incelemesi FTIR spektrofotometresi kullanılarak yapılmıştır. Mikroplastiklerin çoğunun polyester olduğu saptanmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde denizlerin derinliklerinde mikroplastiklerin birikim yaparak büyük bir probleme dönüştüğü sonucuna varmışlardır.

Thiel ve diğ. (2012) deniz çevresindeki mikroplastiklerin tanımlanması ve miktarlarının belirlenmesi için kullanılabilecek yöntemleri araştırmışlardır. Çalışmada, seçici, hacmi azaltılmış ve toplu örnekleme olarak üç tip örnekleme stratejisi belirlenmiştir. Numunenin analiz aşamasının yoğunluklu ayırma, filtreleme, eleme ve görsel sınıflandırma olarak dört

basamaktan oluştuğu ifade edilmiştir. Bunlardan görsel sınıflandırmanın mikroplastiklerin tanımlanmasında önemli olduğu ve kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi için kızılötesi spektrofotometre yönteminin kullanıldığına değinilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde plastik türleri olarak en çok polietilen ve polipropilen polimerlerinin olduğu görülmüştür. Mikroplastik boyutlarının ise elekten ayrılanlar için 500 µm− 5 mm arasında; filtre üzerinde tutulanların ise 1−500 µm arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Martins and Sobral (2011) tarafından Portekiz sahillerinden örnekler alınarak gerçekleştiren çalışmada, laboratuvarda cam bir kapta NaCI çözeltisi (140 g/L) kullanılarak plastik parçaların numunelerden ayrılması kolaylaştırılmıştır. Sonrasında su yaklaşık 1 µm gözenek aralığına sahip filtrelerden geçirilerek yüzeyde kalan parçalar farklı boyutlarda 11 sınıfa (<1 ile >10 arasında) ayrılmıştır. Her bir boyuttaki plastikler için mikro FTIR analizi yapılarak, örneklerin kimyasal yapıları da belirlenmiştir. Çalışma sonucunda en fazla mikroplastik miktarının 2-3, 3-4 ve 4-5 mm boyut aralıklarında görüldüğü tespit edilmiştir. Bununla birlikte plastiklerin çoğunu polistirenlerin oluşturduğu saptanmıştır.

4. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma, Mayıs 2017 ile Şubat 2018 tarihleri arasında Altın Boynuz adıyla bilinen Haliç'te, yedi istasyondan bir yıl boyunca mevsimlik sediman numunesi alınarak gerçekleştirilmiştir. Belirlenen numune alma noktalarından her mevsim birer defa örnekleme yapılarak, toplamda 28 numune ile çalışılmıştır. Sediman numunelerinde >5 mm plastiklerin ve mikroplastiklerin tayini yapılarak, tespit edilen plastikler ve mikroplastikler miktar, boyut, renk, tip ve ağırlık açısından incelenmiştir. Çalışmada 1-5 mm aralığındaki mikroplastiklerin polimer yapıları da belirlenmiştir.

4.1. NUMUNE ALMA İSTASYONLARININ ÖZELLİKLERİ

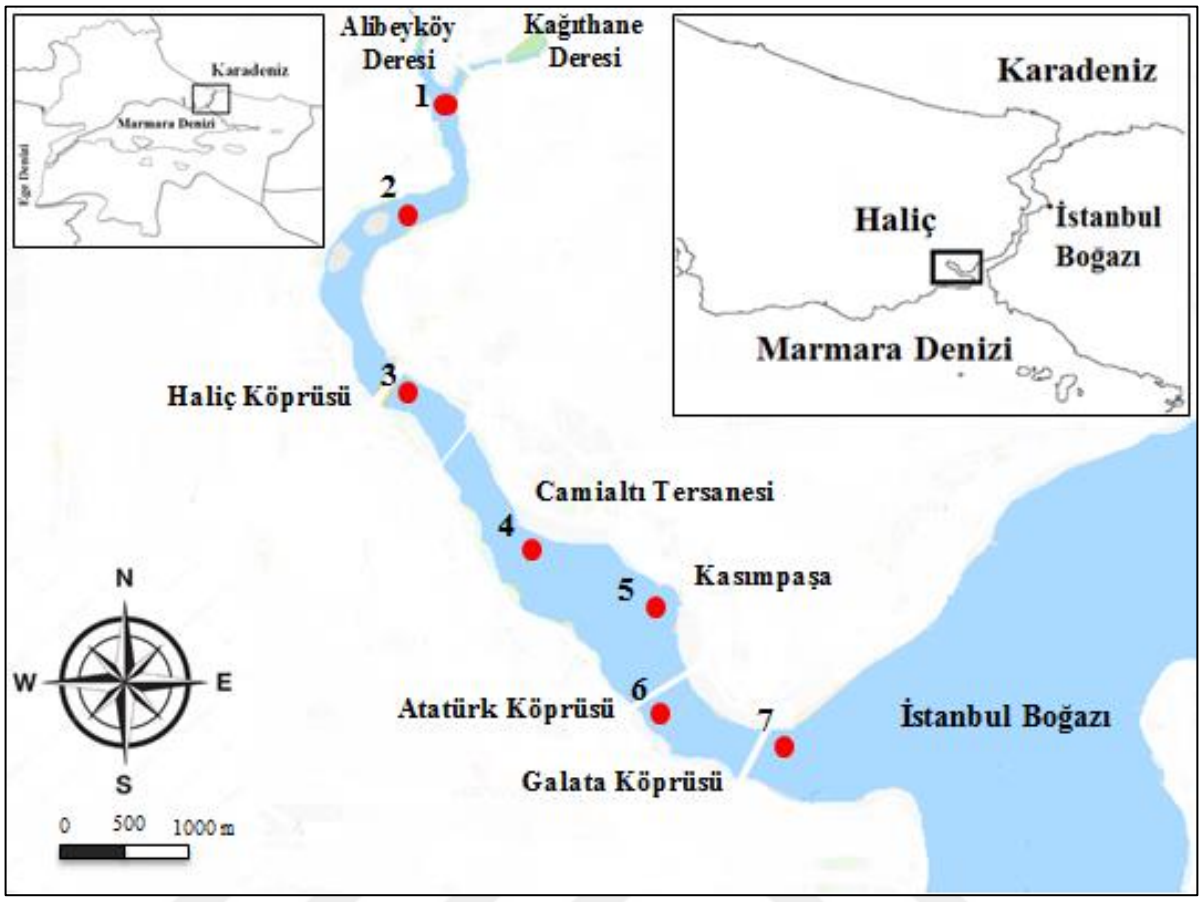
Tarihin her döneminde İstanbul için önemli yaşam merkezlerinden olan Haliç ve çevresi uzun yıllar boyunca ülkemiz için ticari ve ekonomik değere sahip çeşitli endüstrilere ev sahipliği yapmıştır (Coleman ve diğ., 2009; Sirel ve Çerkezoğlu, 2016). Günümüzde endüstriyel faaliyetlerin sonlandığı Haliç'in kıyı şeridi İstanbul nüfusunun yaklaşık %10'unun yaşadığı (Gökburun, 2017) Fatih, Eyüp, Kağıthane ve Beyoğlu ilçeleri ile çevrilidir. Bu ilçeler, Haliç'in çevresel parametrelerini etkileyen karasal kaynaklarını oluştururken, Alibeyköy ve Kağıthane dereleri ile İstanbul Boğazı bölgeyi etkileyen su kaynaklarıdır. Belgrad Ormanı'nda bendlerde toplanan dere kollarının ve Göktürk Göleti'nden gelen kolun katılımıyla oluşan Kağıthane Deresi 182 km^{2}'lik (Akgün, 2015) havzaya sahiptir. Arnavutköy'den doğarak birçok küçük derenin birleşmesi ile Pirinçci üzerinden Alibeyköy Barajı'na dökülen, 161 km^{2}'lik havzaya (Gülbaz, 2017) sahip Alibeyköy Deresi ise barajın güneydoğusundan çıkan kolu ile Haliç ile buluşmaktadır. Ormanlık alanlar, tarım arazileri, yerleşim ve sanayi yerleri ile çevrili bu havzalardan Haliç'e yılda yaklaşık $50x10^3$ m^3 su ve $59x10^3$ m^3 sediman maddesi taşınmaktadır (Akgün, 2015).

Bu çalışmada numune alma istasyonları Haliç'in tamamını temsil etmesi dikkate alınarak seçilmiştir. Bunun için Kağıthane ve Alibeyköy derelerinin birleştiği Haliç'in kuzeybatı ucu başlangıç kabul edilerek, güneydoğu ucunu oluşturan İstanbul Boğazı'na kadar yedi istasyon belirlenmiştir. Numunelerin alındığı istasyonların özellikleri Tablo 4.1'de sunulmuştur. Numune

alınan istasyonları gösteren bölge haritası Şekil 4.1'de ve numune alınan istasyonların genel görünümleri Şekil 4.2-4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Numune alınan istasyonların özellikleri

İstasyon No	İstasyon Adı	İstasyon Koordinatı	İstasyon Özellikleri
1	Sünnet Köprüsü	41º03'47.0" K 28º56'44.8" D	Kağıthane ve Alibeyköy derelerinin Haliç ile birleştiği noktadır. Günümüzde Alibeyköy Deresi'nin kıyısında İstanbul Bilgi Üniversitesi'nin bulunduğu bölgede yer alan Silahtarağa Elektrik Santrali geçmişte işletilmekteydi.
2	Haliç Adaları Bölgesi	41º03'18.2" K 28º56'31.6" D	Eyüp sahili ile Haliç Kongre Merkezi'nin ortasında bulunmaktadır. Bölgenin en bakir noktasıdır. Günümüzde Haliç Kongre Merkezi'nin bulunduğu alanda geçmişte Sütlüce Mezbahası yer almaktaydı.
3	Haliç Köprüsü	41º02'41.9" K 28º56'31.5" D	Üzerinden İstanbul Çevre Yolu geçmektedir. Yakınında bulunan Feshane Uluslararası Fuar, Kongre ve Kültür Merkezi'nin yerinde çok eski yıllarda Feshane-i Amire ismiyle ilk tekstil fabrikası yer almaktaydı. Ayrıca geçmiş yıllarda Hasköy tarafında şapka, yün ve iplik fabrikaları da bulunmaktaydı. Günümüzde Rahmi Koç Sanayi Müzesi olan alan 1800'lü yıllarda Lengerhane ve Hasköy Tersanesi olarak işletilmekteydi.
4	Camialtı	41º02'01.8" K 28º57'14.9" D	Geçmişte uzun yıllar boyunca gemi inşası ve onarımı için kullanılan Taşkızak ve Camialtı tersanelerinin önünde yer almaktadır.
5	Kasımpaşa	41º01'49.6" K 28º57'54.2" D	Yakınında Kasımpaşa iskelesi bulunmaktadır. Geçmişte bu bölgede un fabrikası, tuz deposu ve Haliç tersanesi yer almaktaydı.
6	Atatürk(Unkapanı) Köprüsü	41º01'19.5" K 28º57'48.6" D	Atatürk Köprüsü'nün altında yer almaktadır. Yakınında günümüzde Kadir Has Üniversitesi'nin bulunduğu bölgede Cibali Tütün ve Sigara Fabrikası bulunmaktaydı. Ayrıca 1800'lü yıllarda bölgede un fabrikası yer almaktaydı.
7	Galata Köprüsü	41º01'17.5" K 28º58'30.4" D	Yakınında Eminönü ve Karaköy iskeleleri bulunmaktadır. Haliç'in İstanbul Boğazı'na açılma noktasıdır.



Şekil 4.1: Çalışma bölgesinin haritası ve numune alma noktaları



1. Sünnet Köprüsü



2. Haliç Adaları

Şekil 4.2: Numune alınan istasyonlar



3. Haliç Köprüsü



4. Camialtı



5. Kasımpaşa



6. Atatürk Köprüsü



7. Galata Köprüsü

Şekil 4.2: Numune alınan istasyonlar (devam)

4.2. SEDİMAN NUMUNELERİNİN ALINMASI

Haliç'te numune alma noktası olarak seçilen yedi istasyondan üç ayda bir olmak üzere "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları" tebliğine göre Deniz Çökeltilerinden Numune Alma Kılavuzu'nda belirtilen esaslar dahilinde Van Veen Grab sediman kepçesi ile numuneler alınmıştır. Cam şişelere konulan numuneler, uygun koşullarda laboratuvara getirilerek mikroplastik tayini yapılmıştır.

4.3. MİKROPLASTİK ANALİZİ

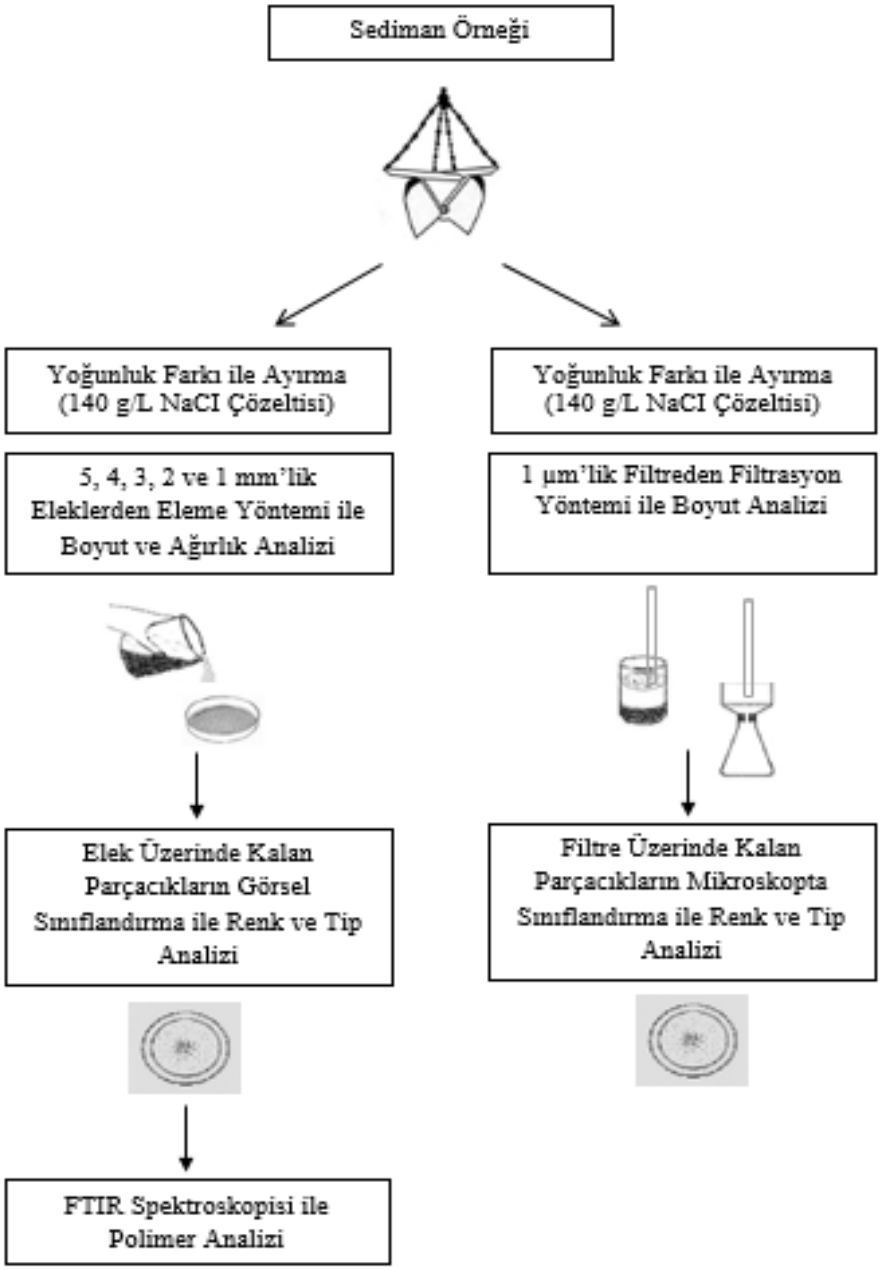
Plastik parçalarının sedimandan ayrılmasını sağlamak için yoğunluk farkından yararlanılmıştır. 5 mm'den büyük plastikler ve 1-5 mm aralığındaki mikroplastiklerin analizi için sediman örnekleri (ıslak sediman) cam beherlere alındıktan sonra üzerlerine sodyum klorür çözeltisi (140 g/L NaCI) eklenmiş ve plastiklerin sedimandan ayrılması için 5 dakika karıştırılmıştır. 1 saat süreyle sedimanın dibe çökmesi beklendikten sonra, üstünde kalan su 5, 4, 3, 2 ve 1 mm'lik eleklerden geçirilmiştir. Elek aralıkları Martins ve Sobral (2011) tarafından kabul edilen boyut sınıflandırmasına göre belirlenmiştir. Bekleme sürecinde herhangi bir kontaminasyon olmaması için beherlerin üzeri alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Bu işlem 3 kez tekrarlanarak tüm plastiklerin sedimandan ayrılması sağlanmıştır. Elekler üzerinde kalan plastikler pens yardımıyla cam petri kaplarına alınmıştır. Boyut aralıklarına göre tartım yapılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Böylece boyut ve ağırlık analizi yapılmış olan plastiklerin her biri standart ışık altında incelenerek renk ve tip tespiti yapılmıştır (Vianello ve diğ., 2013).

1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin analizi için ise 1 gram sediman numunesi (kuru sediman) cam beher içerisine alınmış ve üzerine 140 g/L konsantrasyona sahip NaCI çözeltisi eklenmiştir. Mikroplastiklerin sedimandan ayrılması için 5 dakika karıştırılmıştır. Sedimanın dibe çökmesi için 30 dakika beklendikten sonra üste kalan su cam pipet ile alınarak 1 µm'lik, 47 mm çaplı Whatman filtre kağıdından vakumlu süzme seti kullanılarak filtre edilmiştir. Çalışmalar esnasında herhangi bir kontaminasyon olmaması için beherlerin üzeri alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Filtre kağıtları binoküler mikroskopta incelenerek mikroplastiklerin renk ve tipleri belirlenmiştir (Frias ve diğ., 2016).

Mikroskopta inceleme aşamasında Hidalgo-Ruz ve diğ., 2012 tarafından belirtilen önemli noktalara göre mikroplastikler tanımlanmıştır. Bunun için mikroplastiklerin hücresel ve organik yapılara sahip olmamasına, lif tipi mikroplastiklerin bütün uzunlukları boyunca eşit kalınlığa sahip olmalarına, parçacıkların net ve homojen bir renk göstermelerine dikkat edilmiştir. Ayrıca istisna olabilecek durumlar da değerlendirmeye katılmıştır. Bazı mikroplastikler yüzeylerinde organik kirletici bulundurabileceğinden bunun sadece bir kısmında veya yüzeyinde mi yoksa parça boyunca mı olduğu incelenmiştir. Lif tipi mikroplastiklerin bazılarının uç kısımlarında yıpranma olabileceği ve parçacıkların çok renkli ve desenli olabileceği dikkate alınmıştır. Kesin karar verebilmek için mikroplastiklerin mikroskop görsellerinin yer aldığı rehber kitapçıklardan ve yayınlardan da faydalanılmıştır. 5 mm'den büyük plastikler, 1-5 mm ve 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin belirlenmesi için uygulanan analiz aşamalarını gösteren şema Şekil 4.3'te verilmiştir.

4.4. FTIR SPEKTROSKOPİ ANALİZİ

1-5 mm aralığında olan mikroplastiklerin polimer yapılarının belirlenmesi için Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ile analiz yapılmıştır. Bruker Alpha-P ATR FTIR kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler Digilab Merlin 3.3 ve IR SearchMaster programları ile değerlendirilmiş ve polimer tipleri saptanmıştır.



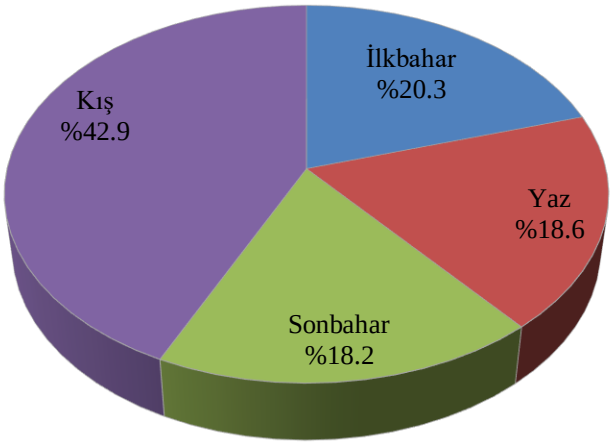
Şekil 4.3: Mikroplastik analiz aşamaları (Hidalgo-Ruz ve diğ., 2012)

5. BULGULAR

Çalışmaya ait bulgular sunulurken tanımlamalar plastik boyutları dikkate alınarak yapılmıştır. 5 mm'den büyük plastiklere ait veriler ikincil mikroplastikler için potansiyel birer kaynak olmaları nedeniyle bu çalışmada göz önüne alınmış ve çalışmaya dahil edilmiştir. Plastik karakterizasyonu yapılırken >5 mm-1 mm aralığını kapsayan bulgularda, 1 mm-5 mm aralığındaki mikroplastiklerin yanı sıra, 5 mm'den büyük plastiklere ait sonuçlar da yer aldığından şekillerde ve toplam sonuçları değerlendiren yorumlarda genel bir ifade olarak "plastik" terimi kullanılmış, 5 mm'den küçük tüm plastikler ise "mikroplastik" olarak tanımlanmıştır.

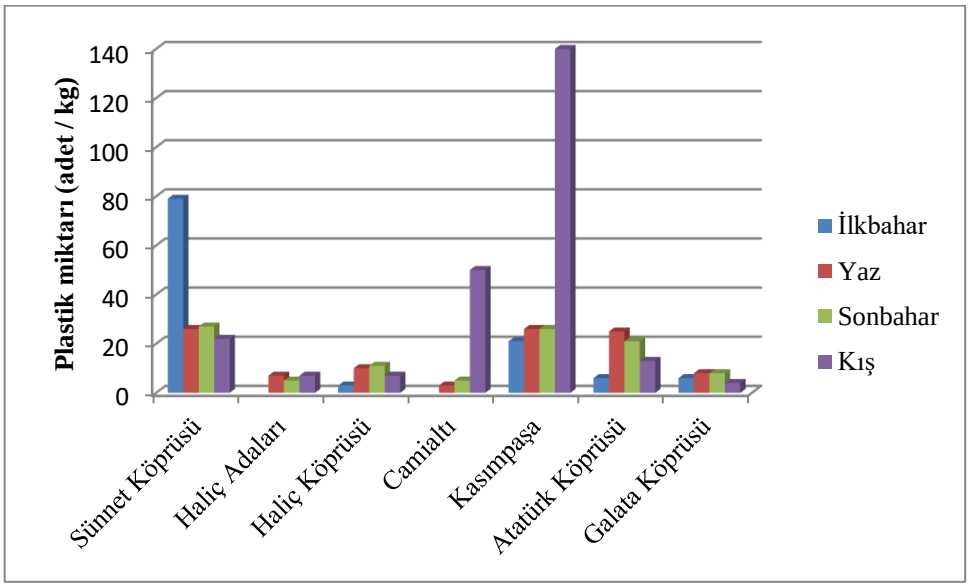
5.1. PLASTİK KARAKTERİZASYONU (>5 mm-1 mm)

Mayıs 2017-Şubat 2018 tarihleri arasında yedi farklı istasyondan mevsimlik olarak alınan sediman numunelerinde >5 mm-1 mm aralığında tespit edilen plastik miktarları adet/kg ıslak sediman olarak belirlenmiş ve kısaca adet/kg olarak ifade edilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler incelendiğinde dört mevsim toplamında 566 adet plastik tespit edildiği görülmüştür. En fazla plastik 243 adet ile kışın bulunurken, ilkbaharda 115 adet, yazın 105 adet ve sonbaharda ise 103 adet plastik bulunmuştur. Plastik miktarının mevsimsel dağılımı (%) Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Plastik miktarının mevsimsel dağılımı (%)

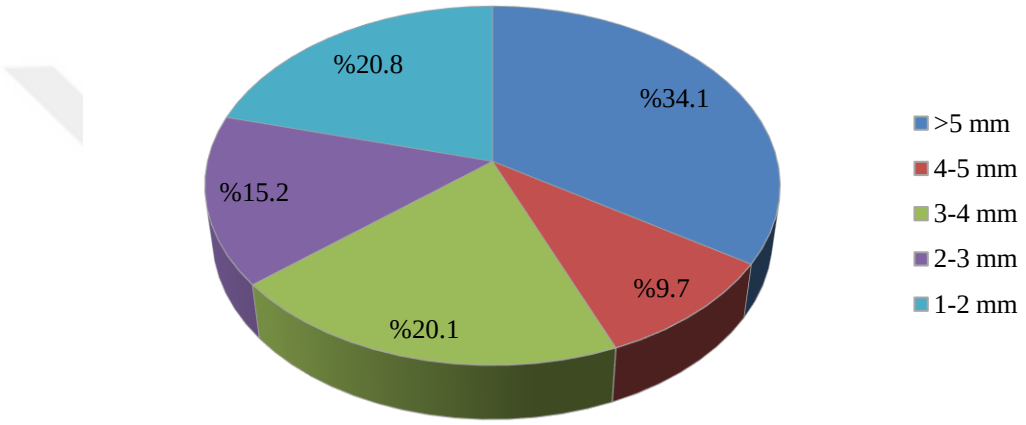
İstasyonlar arası dağılım incelendiğinde plastik miktarının en fazla olduğu istasyonun dört mevsim toplamında 213 adet ile Kasımpaşa olduğu belirlenmiştir. Onu 151 adet ile Sünnet Köprüsü takip etmiştir. En az plastik miktarına ise 19 adet ile Haliç Adaları ve 26 adet ile Galata Köprüsü istasyonlarında rastlanmıştır. Plastik miktarının istasyonlara göre mevsimsel değişimi Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2: Plastik miktarının istasyonlara göre mevsimsel değişimi

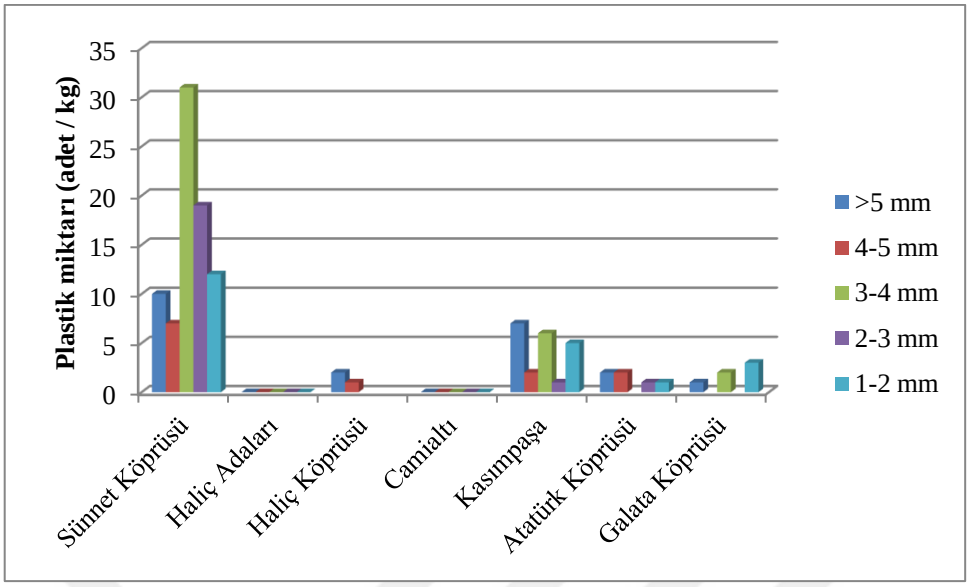
5.1.1. Boyut Analizi

Çalışmada tespit edilen plastiklerin boyut analizi sonuçlarına göre yedi farklı istasyondan mevsimlik olarak alınan numunelerde toplamda 193 adet ile 5 mm'den büyük plastiklerin miktarının en fazla olduğu görülmüştür. Bunu sırasıyla 118 adet ile 1-2 mm aralığındaki, 114 adet ile 3-4 mm aralığındaki, 86 adet ile 2-3 mm aralığındaki ve 55 adet ile 4-5 mm aralığındaki mikroplastikler takip etmiştir. Plastik miktarının boyutlarına göre dağılımı (%) Şekil 5.3'te verilmiştir.



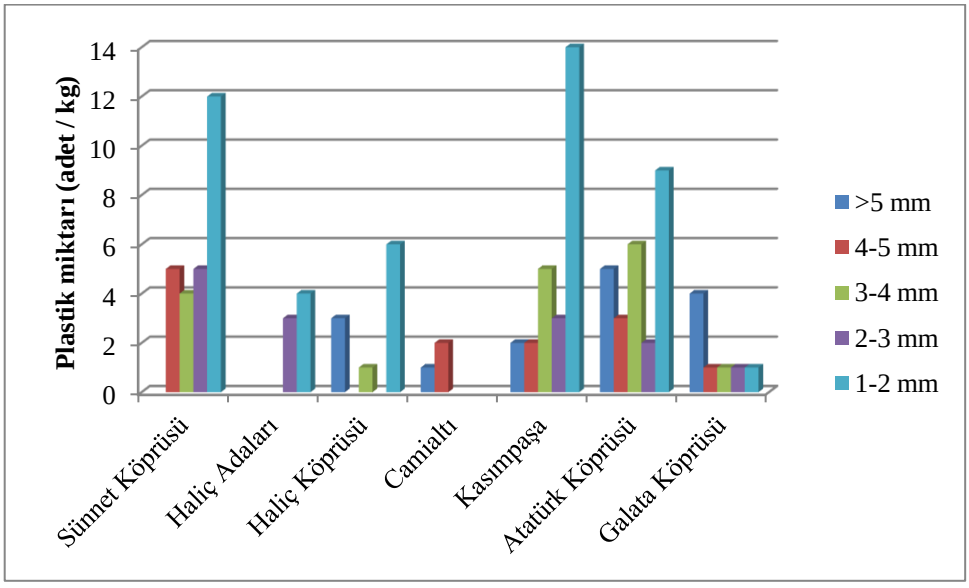
Şekil 5.3: Plastik miktarının boyutlarına göre dağılımı (%)

İlkbahar mevsiminde Haliç Adaları ve Camialtı istasyonlarında plastiğe rastlanmamıştır. 79 adet/kg ile en fazla plastiğe sahip Sünnet Köprüsü'nde, bu plastiklerin 31 adet/kg'ını 3-4 mm aralığına giren mikroplastiklerin oluşturduğu tespit edilmiştir. İlkbahar mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi Şekil 5.4'te verilmektedir.



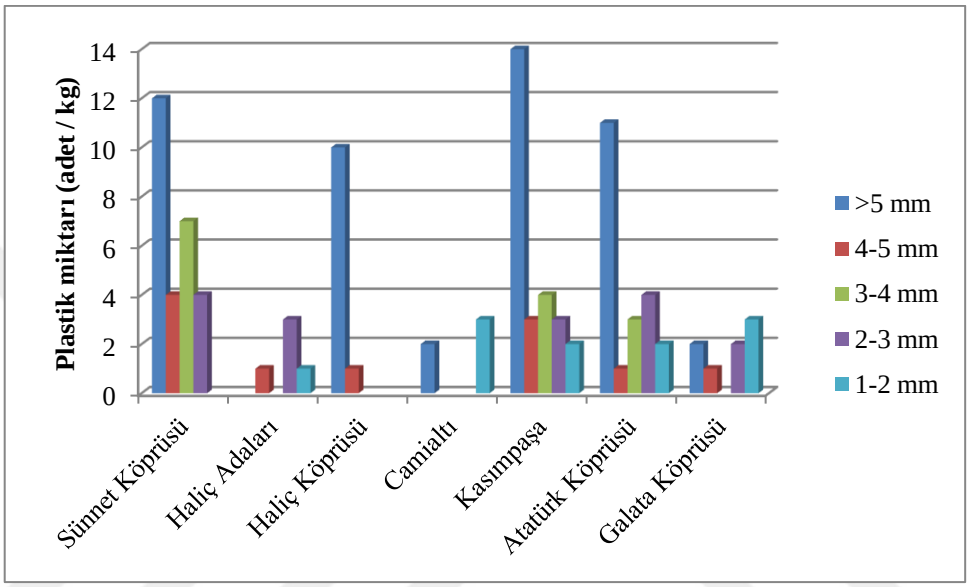
Şekil 5.4: İlkbahar mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi

Yaz mevsiminde en fazla plastiğe 26 adet/kg ile Sünnet Köprüsü ve Kasımpaşa istasyonlarında rastlanmıştır. Bu istasyonları 25 adet/kg ile Atatürk Köprüsü takip etmiştir. En fazla yoğunluğun görüldüğü 1-2 mm aralığındaki mikroplastiklerin sayısı bu üç istasyonda sırasıyla 12, 14 ve 9 adet/kg'dır. Yaz mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi Şekil 5.5'te verilmektedir.



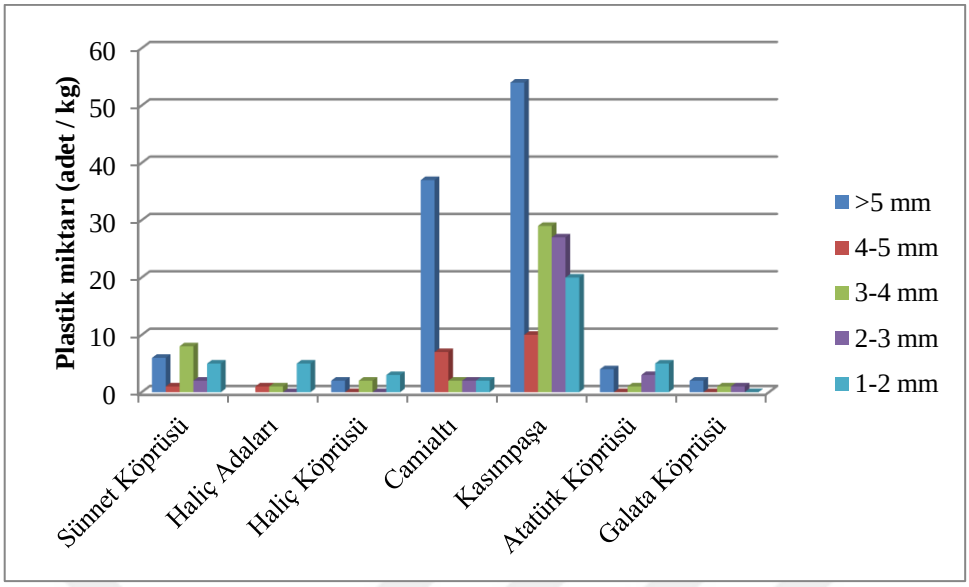
Şekil 5.5: Yaz mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi

Sonbahar mevsiminde plastik miktarının en fazla olduğu istasyonlar 27 adet/kg ile Sünnet Köprüsü ve 26 adet/kg ile Kasımpaşa'dır. Bu istasyonları 21 adet/kg ile Atatürk Köprüsü takip etmektedir. Bu mevsimde 5 mm'den büyük plastik parçaları çoğu istasyonda daha fazla tespit edilmekle birlikte, 3-4 mm aralığında yer alan mikroplastikler Sünnet Köprüsü ve Kasımpaşa'da ikinci sırayı almaktadır. Sonbahar mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi Şekil 5.6'da verilmektedir.



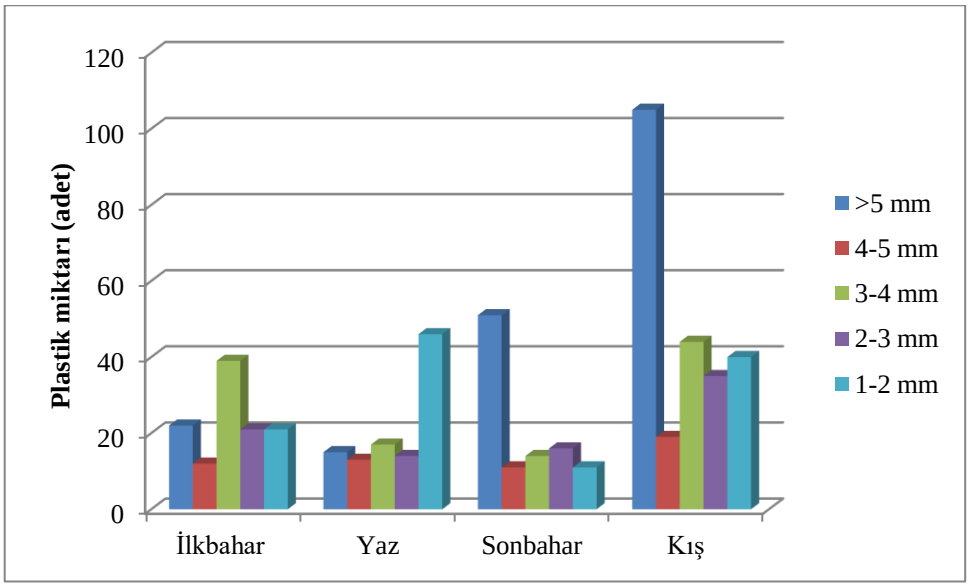
Şekil 5.6: Sonbahar mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi

Kış mevsiminde en fazla plastik 140 adet/kg ile Kasımpaşa istasyonunda görülmüştür. 54 adet/kg'ını 5 mm'den büyük plastiklerin oluşturduğu bu miktarın, 29 adet/kg'ı ise 3-4 mm aralığındaki mikroplastiklerdir. Plastik yoğunluğunun görüldüğü ikinci sıradaki istasyon ise Camialtı'dır. Toplam plastik miktarının 50 adet/kg olduğu bu istasyonda, plastiklerin 37 adet/kg'ını 5 mm'den büyük plastiklerin oluşturduğu belirlenmiştir. Kış mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi Şekil 5.7'de verilmektedir.



Şekil 5.7: Kış mevsiminde plastik boyutlarının istasyonlara göre değişimi

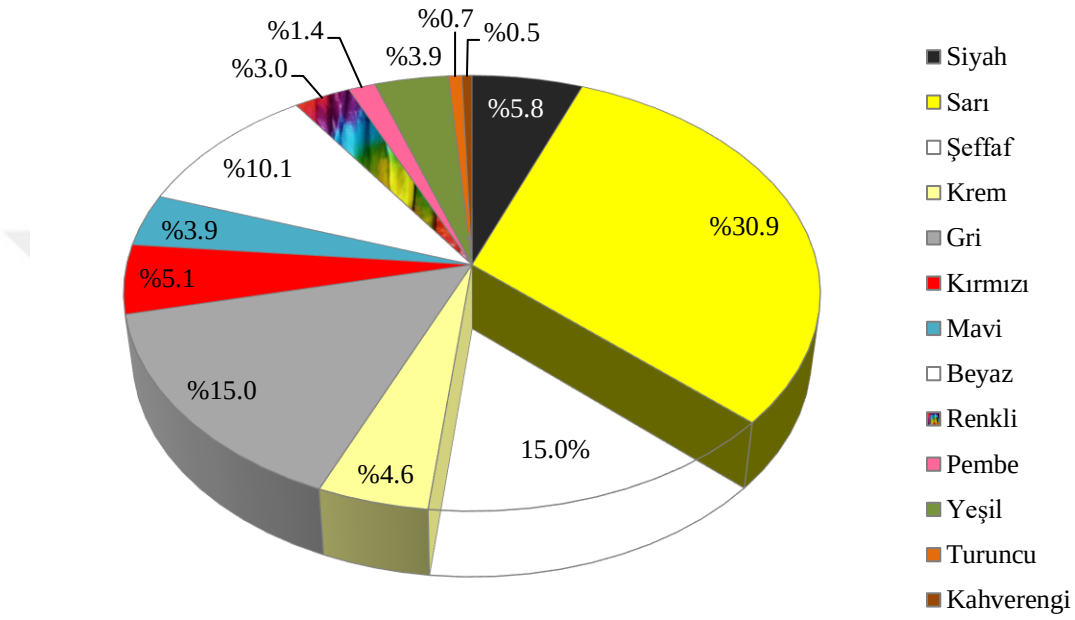
İstasyon farkı gözetmeksizin mevsimlere göre plastik boyutlarına ait veriler incelendiğinde sonbahar ve kış mevsimlerinde 5 mm'den büyük plastiklerin sırasıyla 51 adet ve 105 adet olduğu belirlenmiştir. İlkbahar mevsiminde 3-4 mm aralığında, 39 adet ile yer alan mikroplastikler en fazla yoğunluğu oluştururken, yaz mevsiminde 46 adet ile 1-2 mm aralığında yer alan mikroplastikler miktarca en fazladır. Plastiklerin boyutlarına göre mevsimsel değişimi Şekil 5.8'de gösterilmektedir.



Şekil 5.8: Plastiklerin boyutlarına göre mevsimsel değişimi

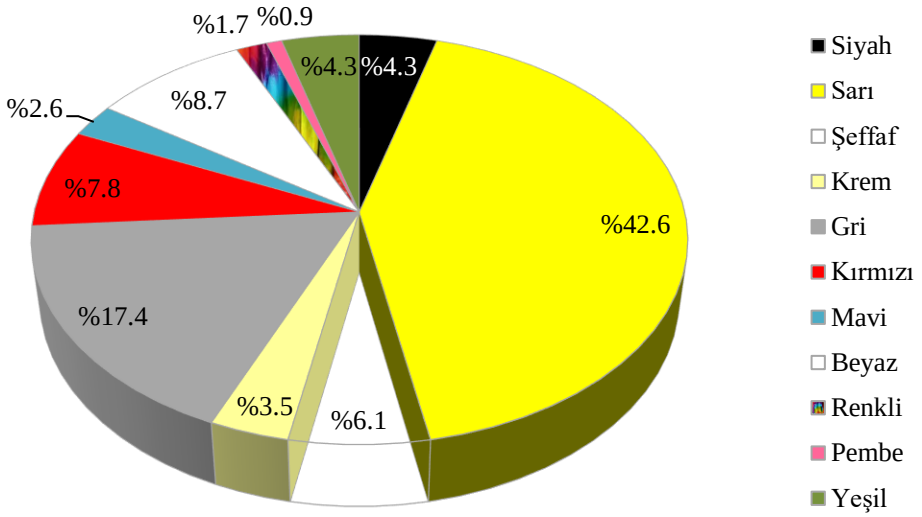
5.1.2. Renk Analizi

Çalışma süresi boyunca tüm numune alma noktalarında tespit edilen plastiklerin renk analizine ait sonuçlar incelendiğinde toplamda en fazla görünen rengin 175 adet ile sarı olduğu belirlenmiştir. Sarı rengi 85'er adet ile gri ve şeffaf renkleri izlemiştir. Plastik miktarının renklere göre dağılımı (%) Şekil 5.9'da gösterilmektedir.



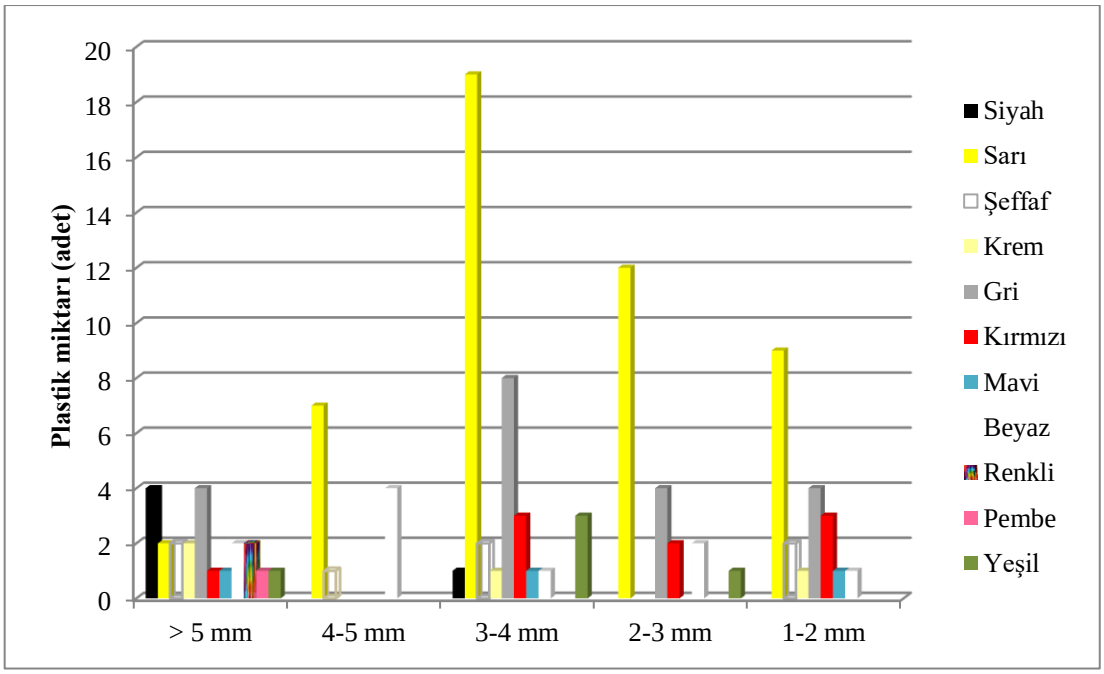
Şekil 5.9: Plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%)

İlkbahar mevsiminde yapılan çalışmalarda tüm istasyonlarda tespit edilen plastiklerin renk dağılımı incelendiğinde 49 adet ile en fazla bulunan rengin sarı olduğu görülmüştür. Onu 20 adet ile gri renk takip etmektedir. En az görünen renkler ise pembe (1 adet) ve renkli (2 adet) plastiklerdir. İlkbahar mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%) Şekil 5.10'da gösterilmektedir.



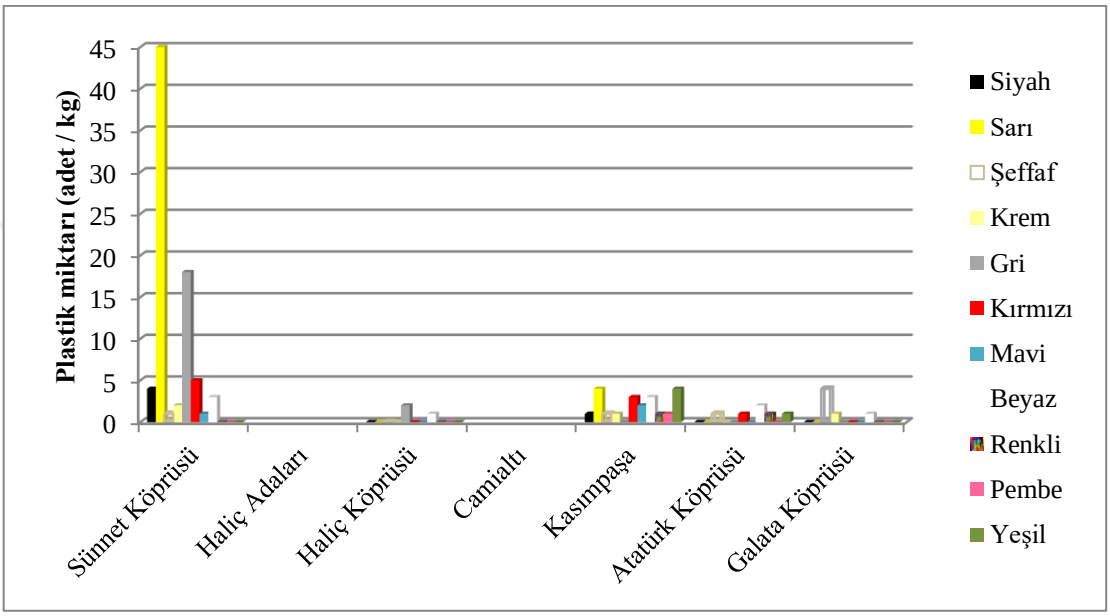
Şekil 5.10: İlkbahar mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%)

İlkbahar mevsiminde renk dağılımı boyut aralıklarına göre değerlendirildiğinde 3-4 mm, 2-3 mm ve 1-2 mm aralığında yer alan sarı renkli mikroplastiklerin sırasıyla 19, 12 ve 9 adet ile en fazla yoğunluğa sahip olduğu görülmüştür. Renkli plastikler 2 adet ve pembe plastik 1 adet ile yalnızca 5 mm'den büyük plastikler arasında yer almaktadır. İlkbahar mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi Şekil 5.11'de gösterilmektedir.



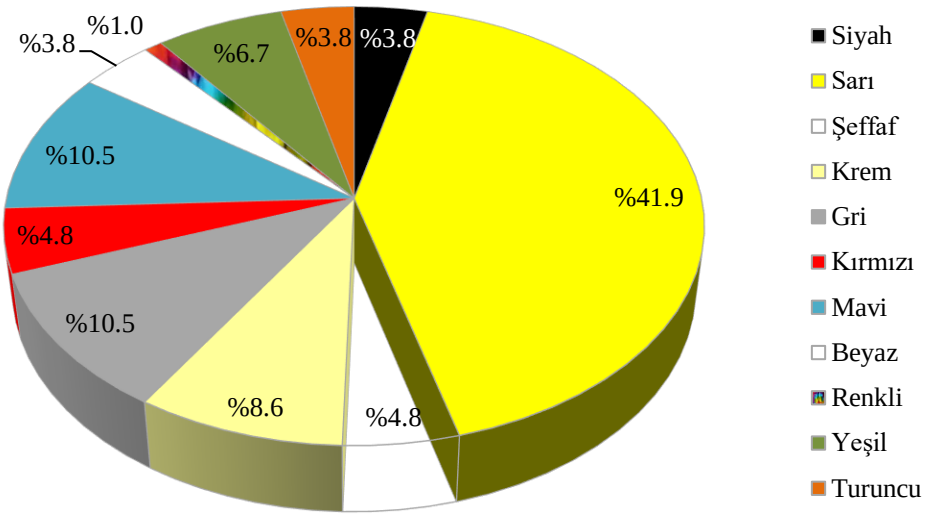
Şekil 5.11: İlkbahar mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi

İlkbahar mevsiminde renk dağılımı istasyonlar arasında değerlendirildiğinde Sünnet Köprüsü ve Kasımpaşa istasyonlarında farklı renklerin yoğunlukta olduğu görülmüştür. Sarı renkli plastiklerin 45 adet/kg'ı ve gri renkli plastiklerin 18 adet/kg'ı Sünnet Köprüsü istasyonunda tespit edilmiştir. Renkli ve pembe renkli plastikler ise yalnızca Kasımpaşa istasyonunda saptanmıştır. İlkbahar mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi Şekil 5.12'de gösterilmektedir.



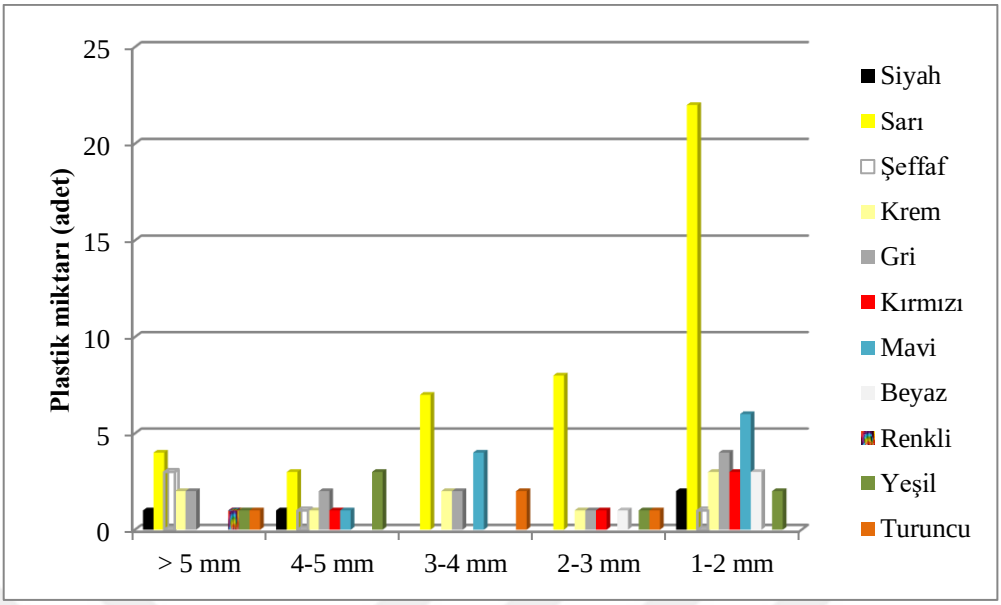
Şekil 5.12: İlkbahar mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi

Yaz mevsiminde yapılan çalışmalarda tüm istasyonlarda tespit edilen plastiklerin renk dağılımı incelendiğinde 44 adet ile en fazla belirlenen renk sarıdır. Sarı renkli plastikleri 11'er adet ile mavi ve gri renkli plastikler takip etmektedir. En az görünen renk ise renkli (1 adet) olarak tanımlanan sınıftır. Onu 4'er adet ile siyah, turuncu ve beyaz renkleri takip etmektedir. Yaz mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%) Şekil 5.13'te gösterilmektedir.



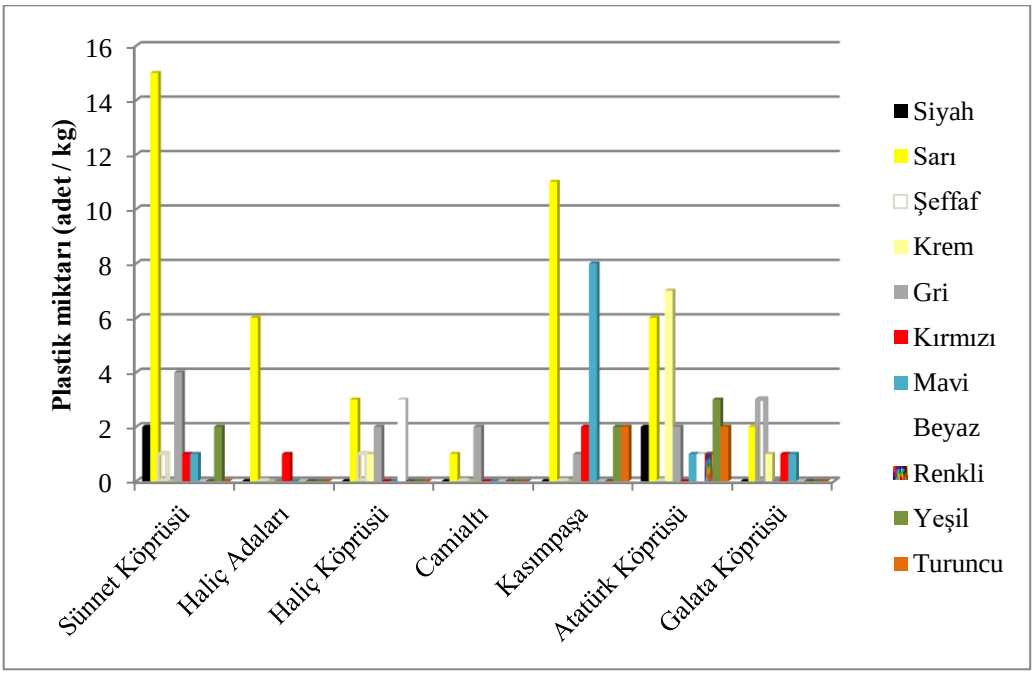
Şekil 5.13: Yaz mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%)

Yaz mevsiminde numunelerde tespit edilen plastiklerin boyutlarına göre renkleri incelendiğinde her sınıf aralığında sarı rengin baskın olduğu görülmektedir. 22 adet ile 1-2 mm aralığındaki sarı mikroplastikler en fazla yoğunluğa sahiptir. Onu sırasıyla 4 ve 6 adet ile 3-4 mm ve 1-2 mm aralığında görünen mavi mikroplastikler takip etmektedir. Gri renkli plastikler de her sınıf aralığında tespit edilmiştir. Renkli plastikler yalnızca 5 mm'den büyük plastikler arasında görülmüştür. Yaz mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi Şekil 5.14'te gösterilmektedir.



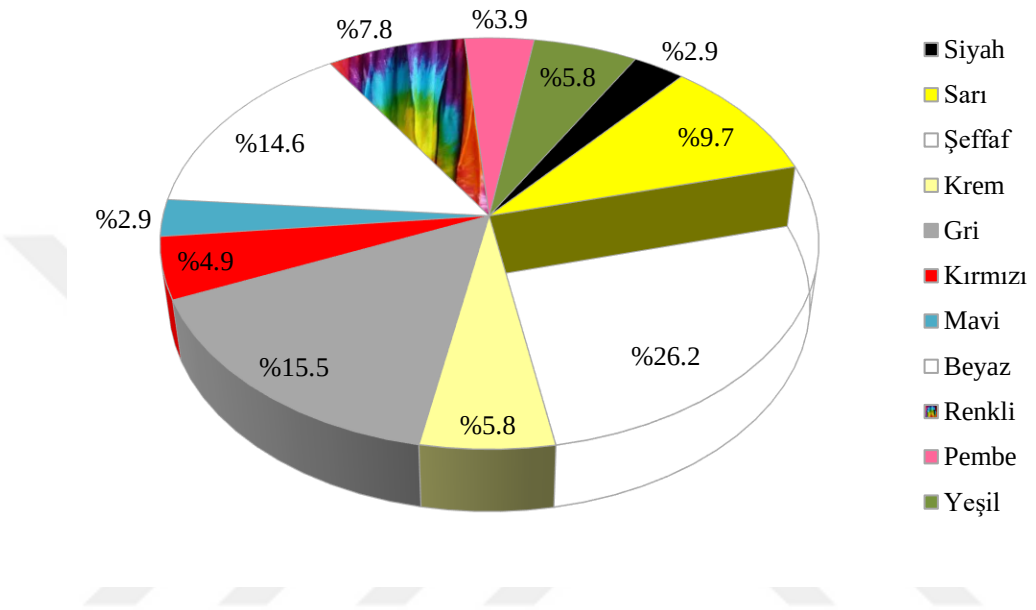
Şekil 5.14: Yaz mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi

Yaz mevsiminde tespit edilen plastiklerin istasyonlara göre renk dağılımları incelendiğinde sarı renkli plastiklerin 15 adet/kg ile en fazla Sünnet Köprüsü istasyonunda görüldüğü belirlenmiştir. Renkli plastikler 1 adet/kg ile yalnızca Atatürk Köprüsü istasyonunda bulunurken, en fazla renk çeşidinin görüldüğü istasyonların Kasımpaşa ve Atatürk Köprüsü olduğu tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi Şekil 5.15'te gösterilmektedir.



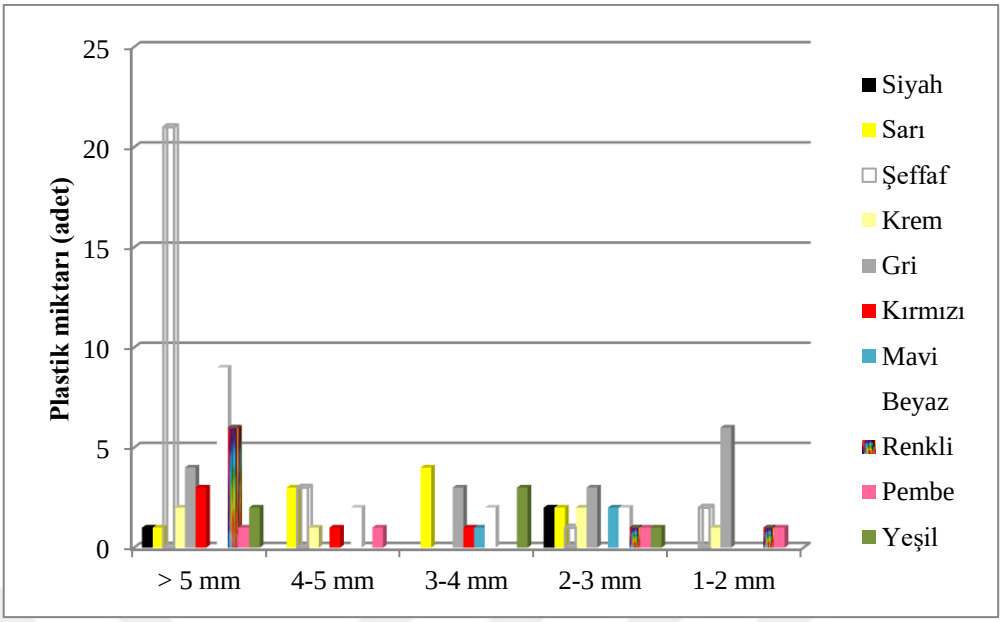
Şekil 5.15: Yaz mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi

Sonbahar mevsiminde yapılan çalışmalarda tüm istasyonlarda tespit edilen plastiklerin renk dağılımı incelendiğinde 27 adet ile en fazla belirlenen renk şeffaftır. Onu 16 adet ile gri ve 15 adet ile beyaz renkleri takip etmektedir. 3'er adet ile en az görünen renkler ise siyah ve mavidir. Sonbahar mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%) Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



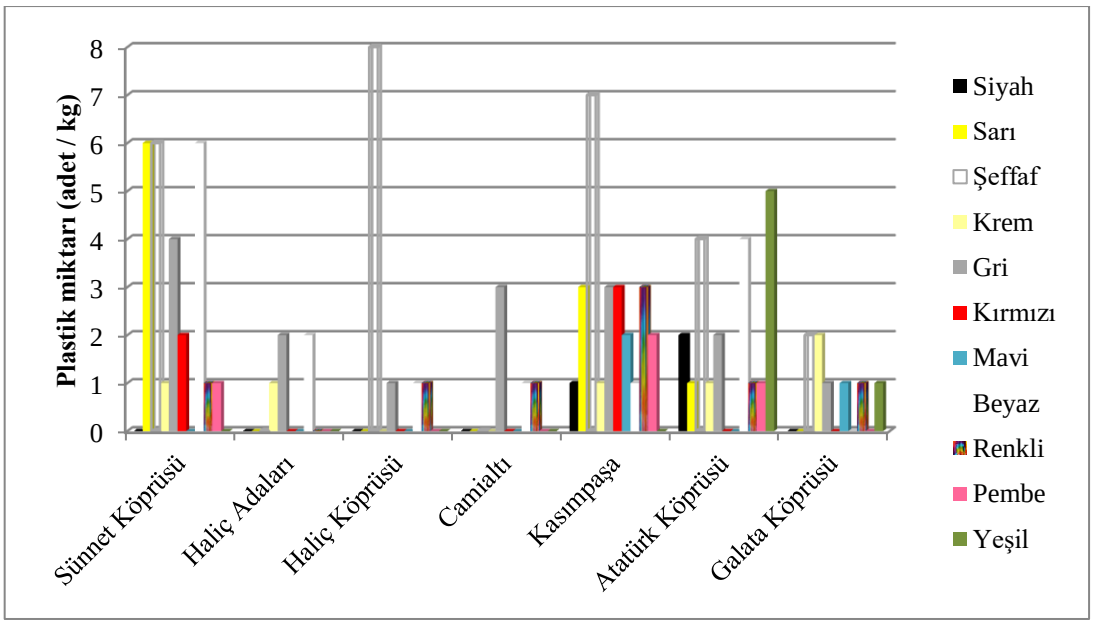
Şekil 5.16: Sonbahar mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%)

Sonbahar mevsiminde tespit edilen plastiklerin boyutlarına göre renk dağılımları incelendiğinde 21 adet ile şeffaf renkli plastiklerin en fazla bulunduğu aralık 5 mm'den büyük plastiklerdir. Bu aralık içerisinde onu 9 adet ile beyaz renk takip etmiştir. En fazla renk çeşidinin 2-3 mm aralığında yer alan mikroplastikler arasında görüldüğü saptanmıştır. Sonbahar mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi Şekil 5.17'de gösterilmektedir.



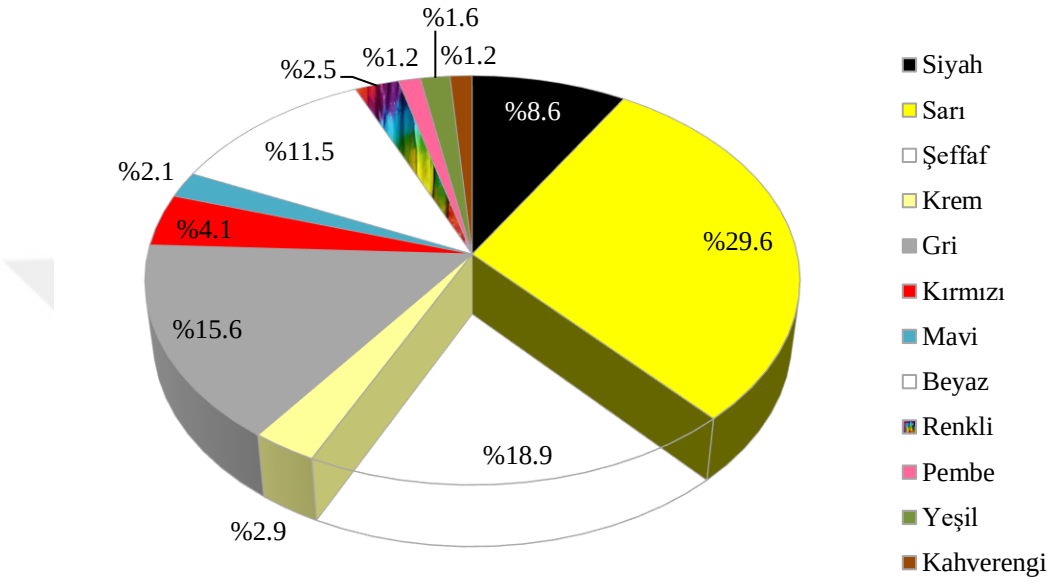
Şekil 5.17: Sonbahar mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi

Sonbahar mevsiminde yapılan çalışmalarda tespit edilen plastik renklerinin istasyonlar arası dağılımı incelendiğinde en fazla renk çeşidinin Kasımpaşa ve Atatürk Köprüsü istasyonlarında olduğu tespit edilmiştir. Şeffaf renkli plastikler en fazla 8 adet/kg ve 7 adet/kg ile sırasıyla Haliç Köprüsü ve Kasımpaşa istasyonlarında görülmüştür. Sonbahar mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi Şekil 5.18'te gösterilmektedir.



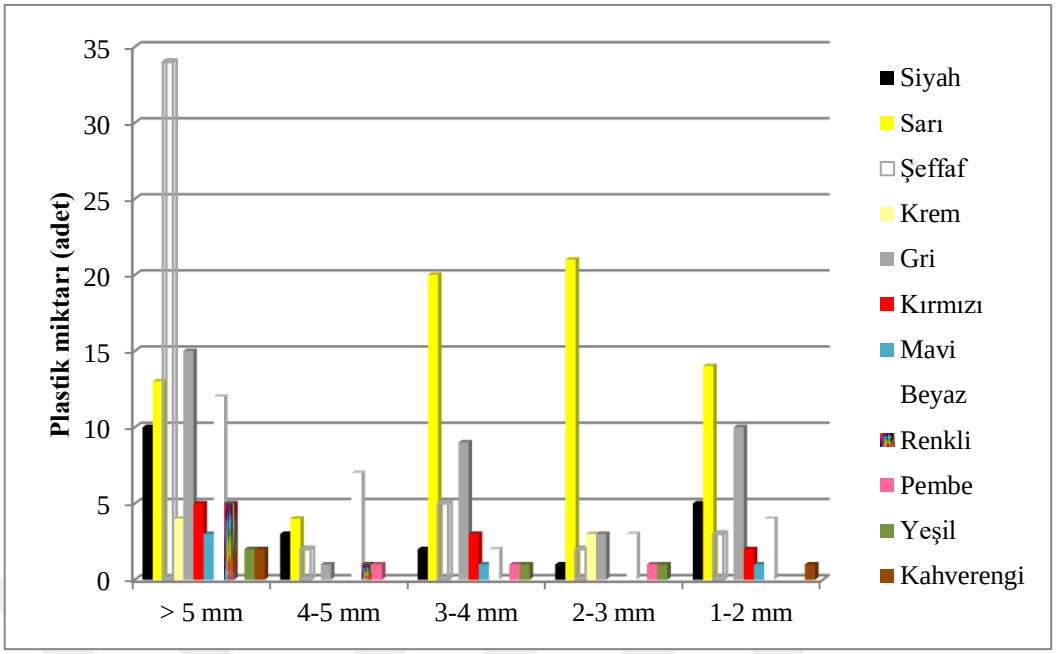
Şekil 5.18: Sonbahar mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi

Kış mevsiminde yapılan çalışmalar sonucu tüm istasyonlarda tespit edilen plastiklerin renk dağılımı incelendiğinde 72 adet ile en fazla plastiğin sarı renkte yoğunlaştığı görülmüştür. Onu 46 adet ile şeffaf renk ve 38 adet ile gri renk takip etmektedir. 3'er adet ile kahverengi ve pembe ve renkleri en az rastlanan renklerdir. Kış mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%) Şekil 5.18'te gösterilmektedir.



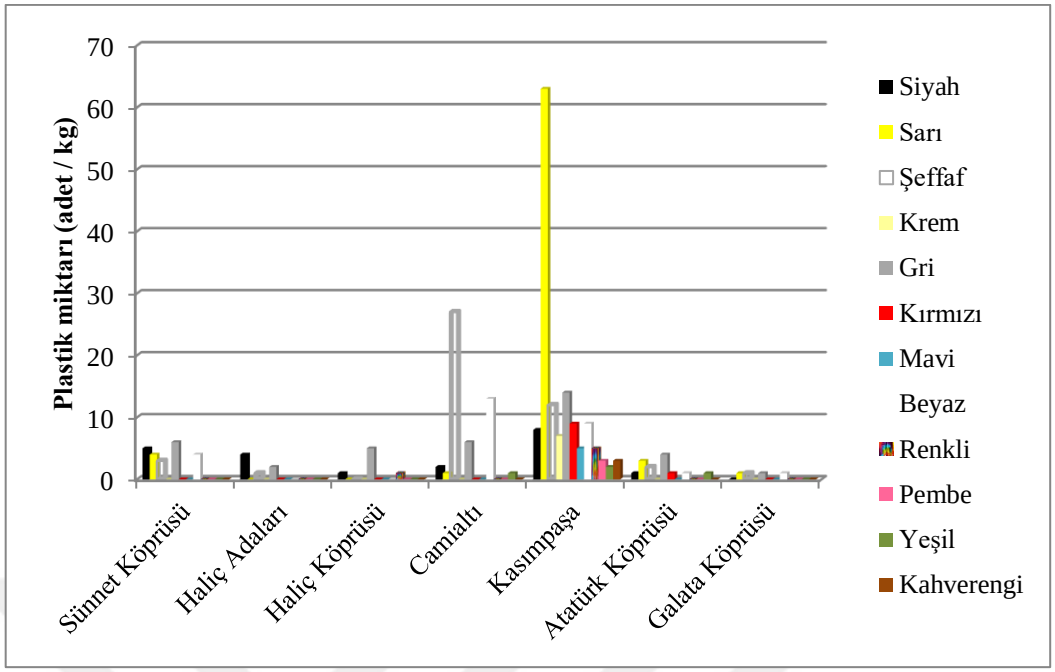
Şekil 5.19: Kış mevsiminde plastik miktarının renklerine göre dağılımı (%)

Kış mevsiminde en fazla görünen sarı renkli plastikler 21 adet ile 2-3 mm aralığında yoğunlaşmakla birlikte, her boyut aralığında tespit edildiği görülmüştür. Şeffaf renkli plastikler 34 adet ile en fazla 5 mm'den büyük plastikler arasında yer almaktadır. Diğer mevsimlerde alınan sediman örneklerinde rastlanmayan kahverengi plastikler 5 mm'den büyük (2 adet) ve 1-2 mm (1 adet) aralığındaki plastikler arasında saptanmıştır. Kış mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi Şekil 5.20'de gösterilmektedir.



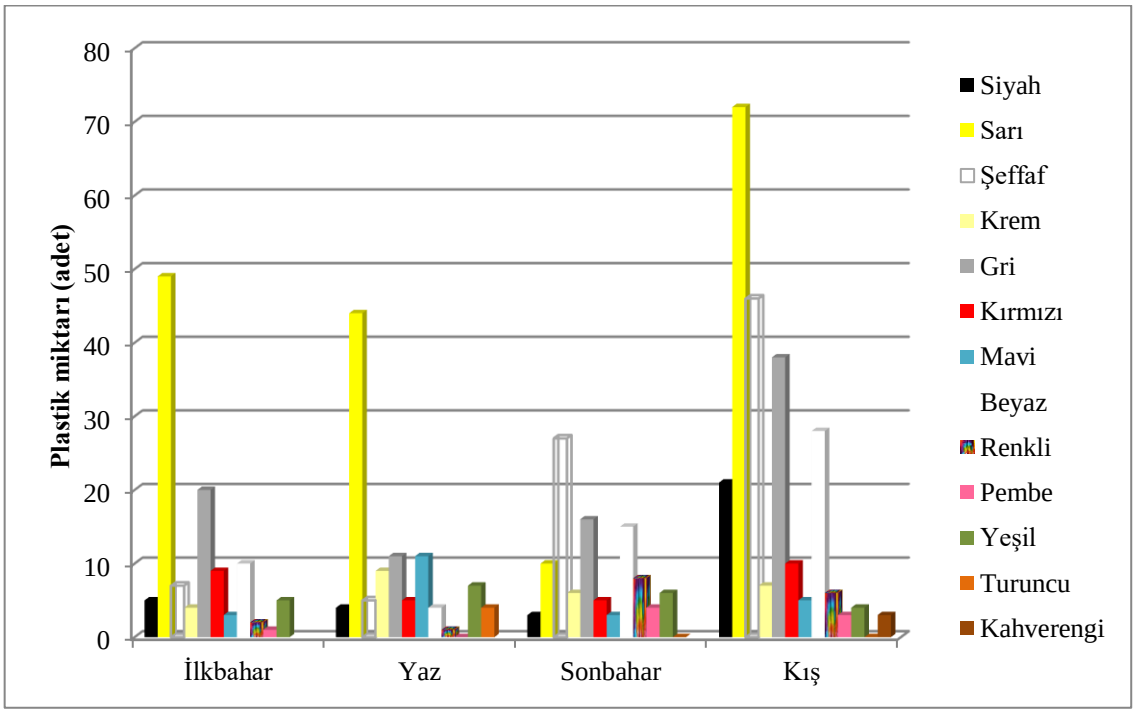
Şekil 5.20: Kış mevsiminde plastik renklerinin boyut aralığına göre değişimi

Kış mevsiminde plastik renklerinin istasyonlar arasındaki dağılımına bakıldığında Kasımpaşa istasyonunda 63 adet/kg ile sarı renk en fazla olmakla birlikte her renk sınıfı görülmektedir. 7 adet/kg ile krem, 5 adet/kg ile mavi, 3'er adet/kg ile kahverengi ve pembe renkleri yalnızca Kasımpaşa istasyonunda tespit edilen renklerdir. 27 adet/kg ile şeffaf renkli plastiklere en fazla Camialtı istasyonunda rastlanmıştır. Kış mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi Şekil 5.21'de gösterilmektedir.



Şekil 5.21: Kış mevsiminde plastik renklerinin istasyonlara göre değişimi

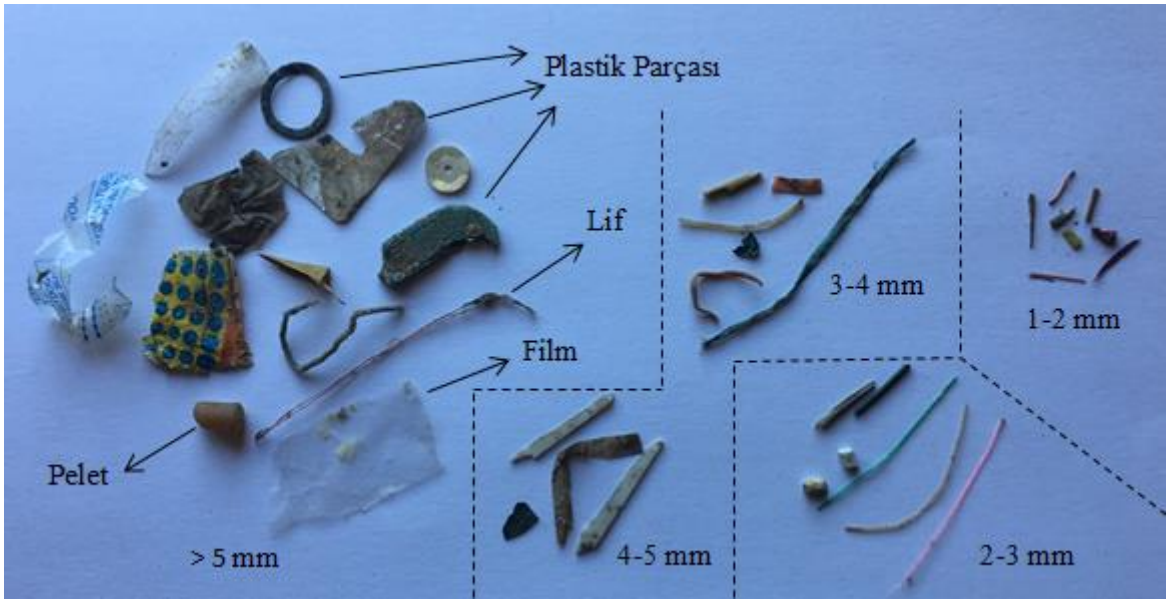
İstasyon ve boyut farkı gözetmeksizin plastik renklerinin mevsimsel değişimi incelendiğinde ilkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde en fazla bulunan renk sarı iken, sonbaharda şeffaftır. Turuncu renkli plastikler yalnızca yazın, kahverengi plastikler ise yalnızca kışın tespit edilmiştir. Plastiklerin renklerine göre mevsimsel değişimi Şekil 5.22'de gösterilmektedir.



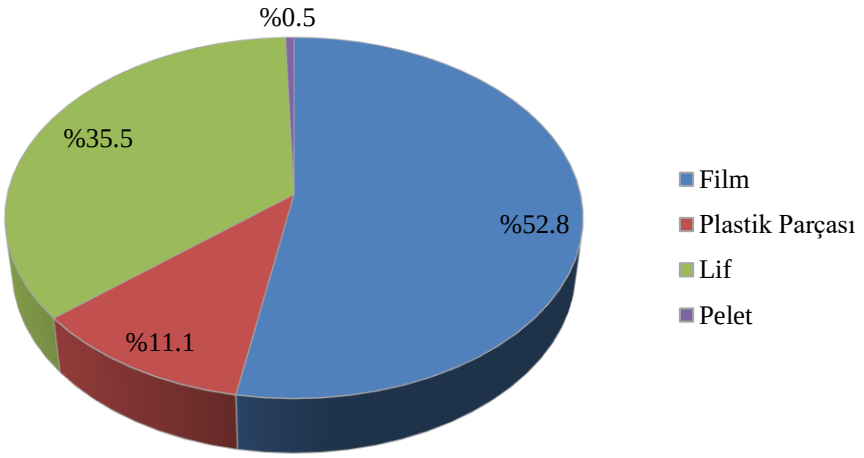
Şekil 5.22: Plastiklerin renklerine göre mevsimsel değişimi

5.1.3. Tip Analizi

Çalışmada belirlenen plastikler tiplerine göre değerlendirildiğinde yedi farklı istasyondan mevsimlik olarak alınan numunelerde toplam 299 adet ile filmlerin miktarca en fazla yoğunluğa sahip olduğu ve 201 adet ile onu liflerin takip ettiği görülmüştür. Bununla birlikte 63 adet plastik parçası ve 3 adet pelet tipi plastik tespit edilmiştir. Tanımlanan plastik tiplerine ait görseller Şekil 5.23'te sunulmaktadır. Plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%) Şekil 5.24'te verilmektedir.

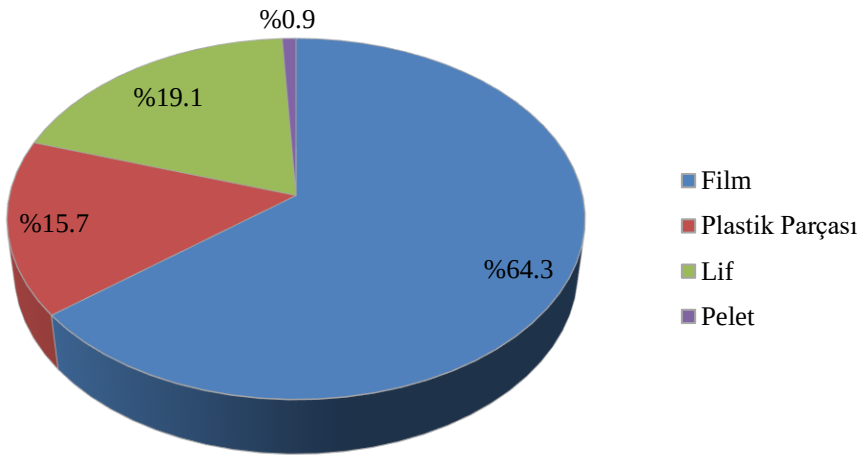


Şekil 5.23: Tanımlanan plastik tiplerine ait görseller



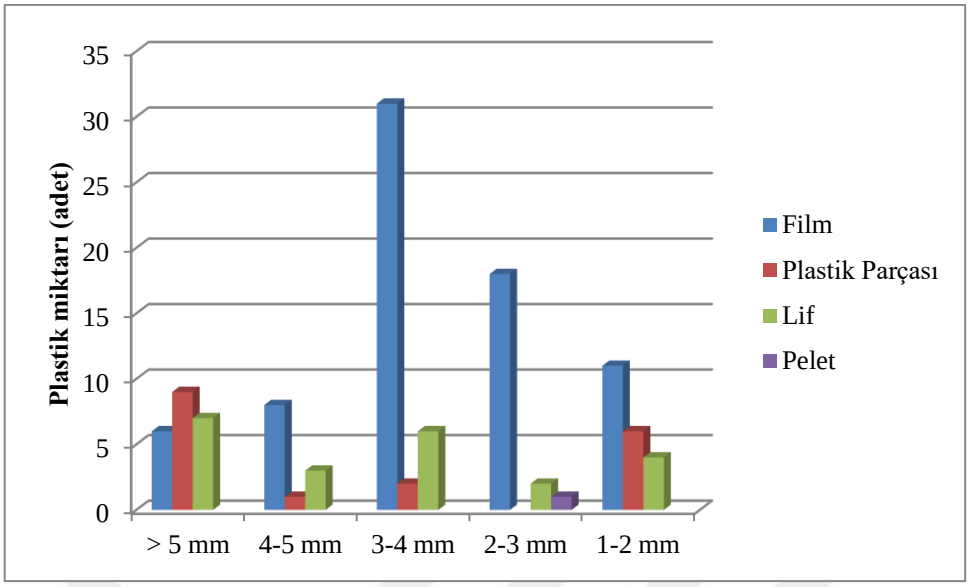
Şekil 5.24: Plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%)

İlkbahar mevsiminde 74 adet ile en fazla yoğunluğa sahip olan plastik tipinin filmler olduğu tespit edilmiştir. Onu 22 adet ile lifler ve 18 adet ile plastik parçaları takip etmiştir. 1 adet ile pelet ise en az saptanan plastik tipidir. İlkbahar mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%) sayısı Şekil 5.25'te gösterilmektedir.



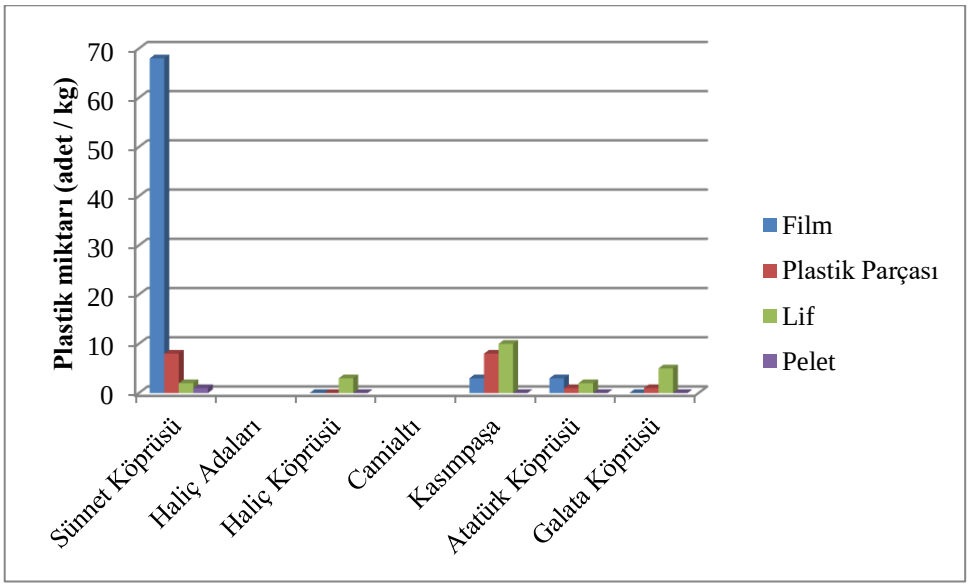
Şekil 5.25: İlkbahar mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%)

İlkbahar mevsiminde 31 adet ile 3-4 mm aralığındaki mikroplastikler içerisinde yoğunlaşan filmler her boyut aralığında saptanmıştır. Lifler de her boyut aralığında görülmekle birlikte 7 adet ile en fazla 5 mm'den büyük plastikler arasında yer almaktadır. Plastik parçaları 9 adet ile en fazla 5 mm'den büyük plastikler içerisinde saptanırken 1 adet ile pelet yalnızca 2-3 mm aralığında görülmüştür. İlkbahar mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi Şekil 5.26'da gösterilmektedir.



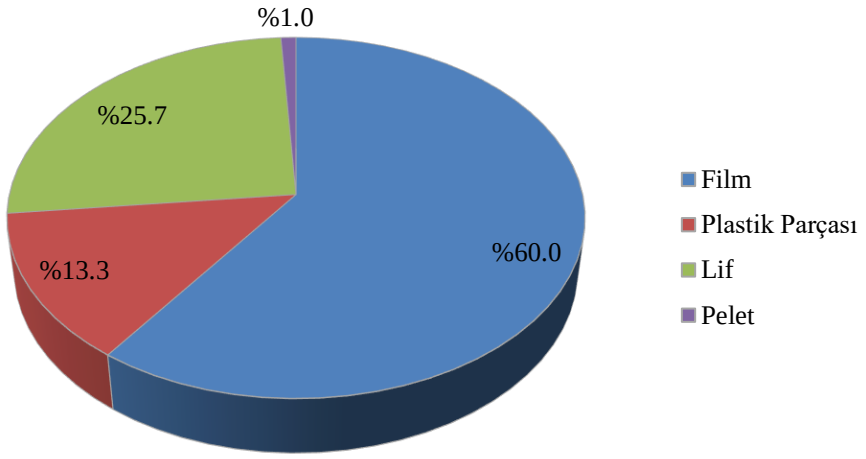
Şekil 5.26: İlkbahar mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi

İlkbahar mevsiminde 68 adet/kg ile en fazla film Sünnet Köprüsü istasyonunda saptanmıştır. Liflerin 10 adet/kg ile Kasımpaşa istasyonunda yoğunlaştığı belirlenmiştir. 3 adet/kg ile Haliç Köprüsü'nde ve 5 adet/kg ile Galata Köprüsü'nde en fazla görünen plastik tipi liflerdir. 1 adet/kg ile en az tespit edilen pelet tipi plastik yalnızca Sünnet Köprüsü istasyonunda görülmüştür. İlkbahar mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi Şekil 5.27'de gösterilmektedir.



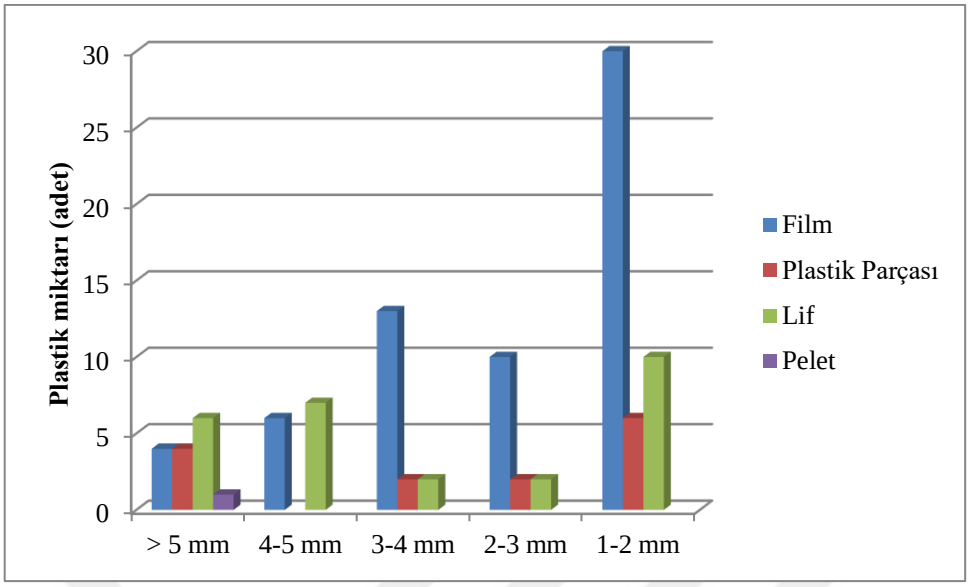
Şekil 5.27: İlkbahar mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi

Yaz mevsiminde 63 adet ile en fazla görünen plastik tipi filmler iken, ikinci sırada 27 adet ile lifler gelmektedir. 14 adet plastik parçası ve 1 adet pelet tipi plastik tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%) Şekil 5.28'de gösterilmektedir.



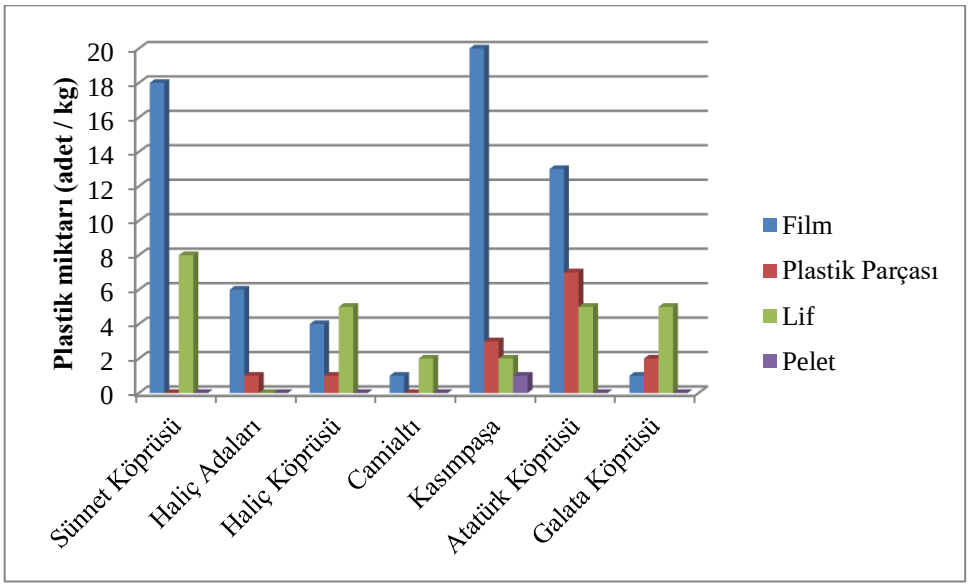
Şekil 5.28: Yaz mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%)

Yaz mevsiminde film ve lif tipi plastiklere her boyut aralığında rastlanmıştır. En fazla film 30 adet ile ve en fazla lif 10 adet ile 1-2 mm aralığındaki mikroplastikler arasında görülmüştür. Pelet tipi plastikler 1 adet ile yalnızca 5 mm'den büyük plastikler arasında tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi Şekil 5.29'da gösterilmektedir.



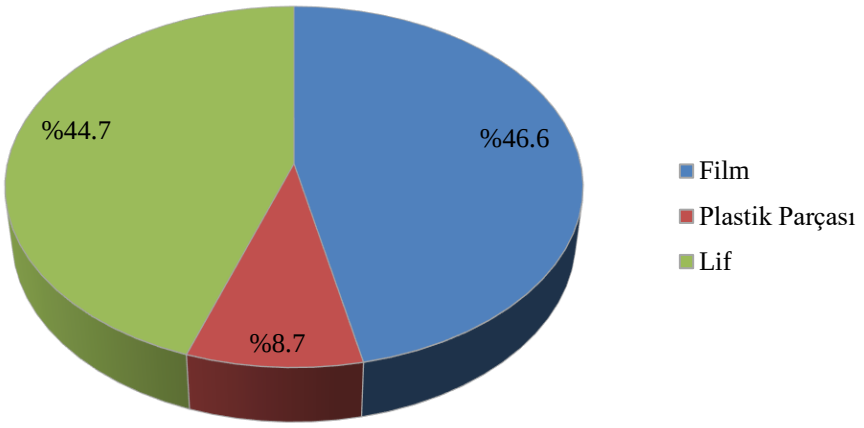
Şekil 5.29: Yaz mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi

Yaz mevsiminde 20 adet/kg ile en fazla film Kasımpaşa istasyonunda görülürken, onu 18 adet/kg ile Sünnet Köprüsü istasyonu takip etmektedir. Lifler 8 adet/kg ile Sünnet Köprüsü istasyonunda yoğunlaşmıştır. Plastik parçası (7 adet/kg) en fazla Atatürk Köprüsü istasyonunda saptanırken, pelet tipi (1 adet/kg) plastikler yalnızca Kasımpaşa istasyonunda tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi Şekil 5.30'da gösterilmektedir.



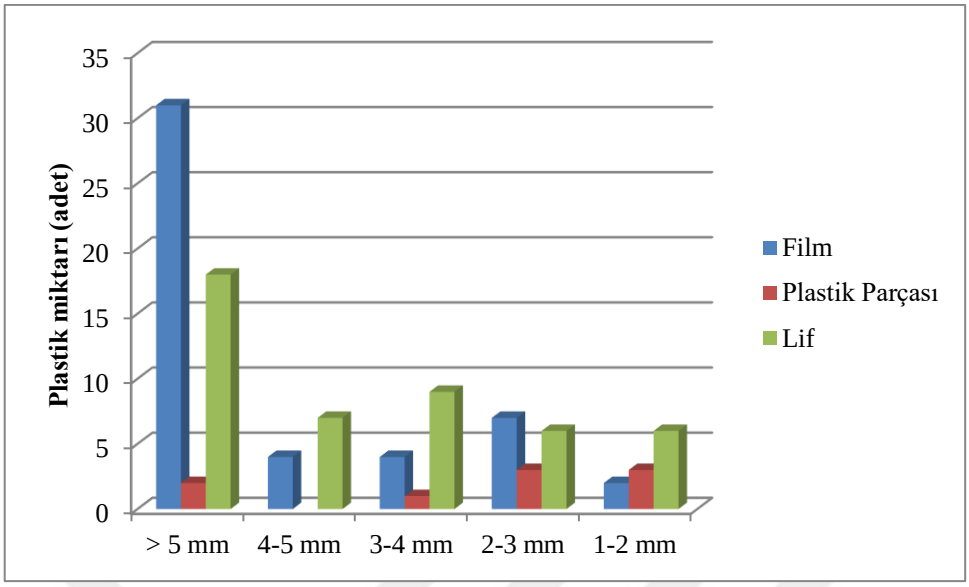
Şekil 5.30: Yaz mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi

Sonbahar mevsiminde 48 adet film, 46 adet lif ve 9 adet plastik parçası saptanmıştır. Sonbahar mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%) Şekil 5.31'de gösterilmektedir.



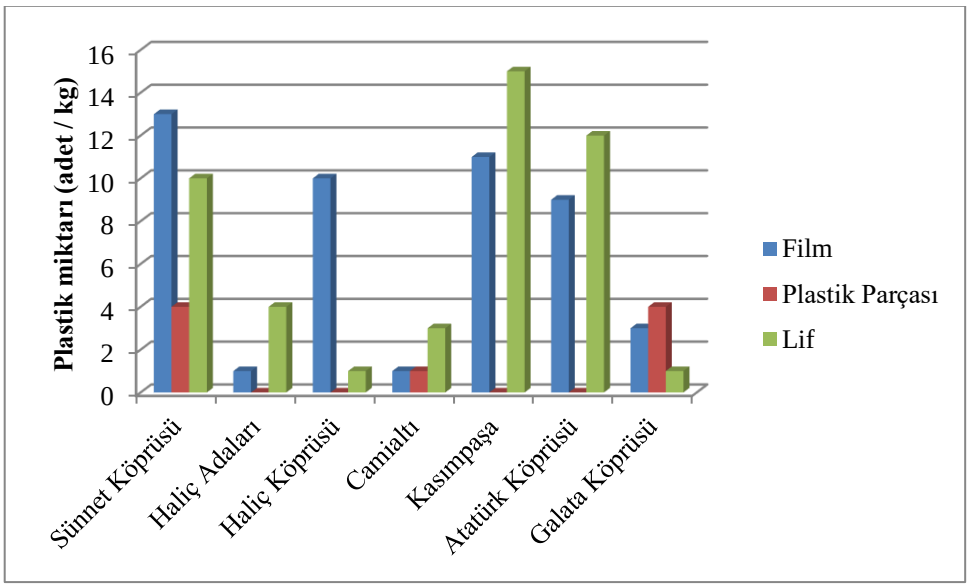
Şekil 5.31: Sonbahar mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%)

Sonbahar mevsiminde 31 adet ile en fazla film 5 mm'den büyük plastikler arasında görülürken, en az film 2 adet ile 1-2 mm aralığındaki mikroplastikler içerisinde saptanmıştır. Lifler 18 adet ile en fazla 5 mm'den büyük plastikler arasında, en az ise 6'şar adet ile 2-3 mm ve 1-2 mm aralığındaki mikroplastikler arasında belirlenmiştir. Sonbahar mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi Şekil 5.32'de gösterilmektedir.



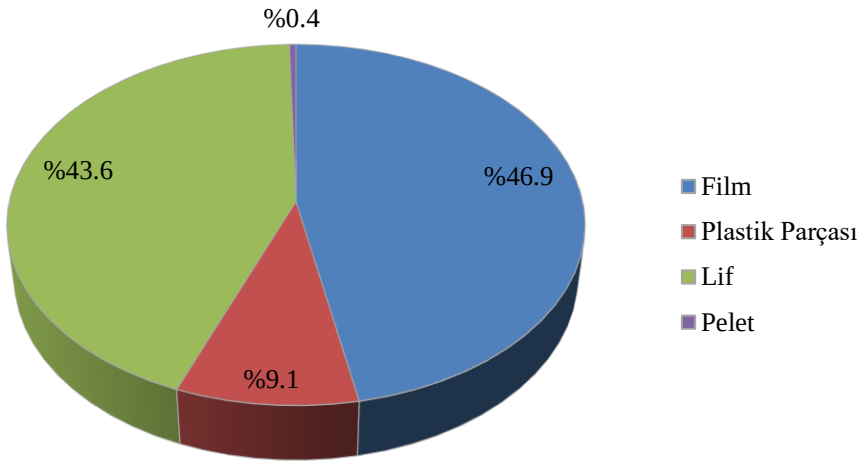
Şekil 5.32: Sonbahar mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi

Sonbahar mevsiminde 15 adet/kg ile en fazla lif Kasımpaşa istasyonunda görülürken, onu 12 adet/kg ile Atatürk Köprüsü istasyonu takip etmiştir. Lif tipinde plastiğin en az rastlandığı istasyonlar Haliç Köprüsü (1 adet/kg) ve Galata Köprüsü (1 adet/kg)'dür. En fazla film tipi plastik 13 adet ile Sünnet Köprüsü istasyonunda saptanırken, en az filme 1'er adet/kg ile Haliç Adaları ve Camialtı istasyonlarında rastlanmıştır. Sonbahar mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi Şekil 5.33'te gösterilmektedir.



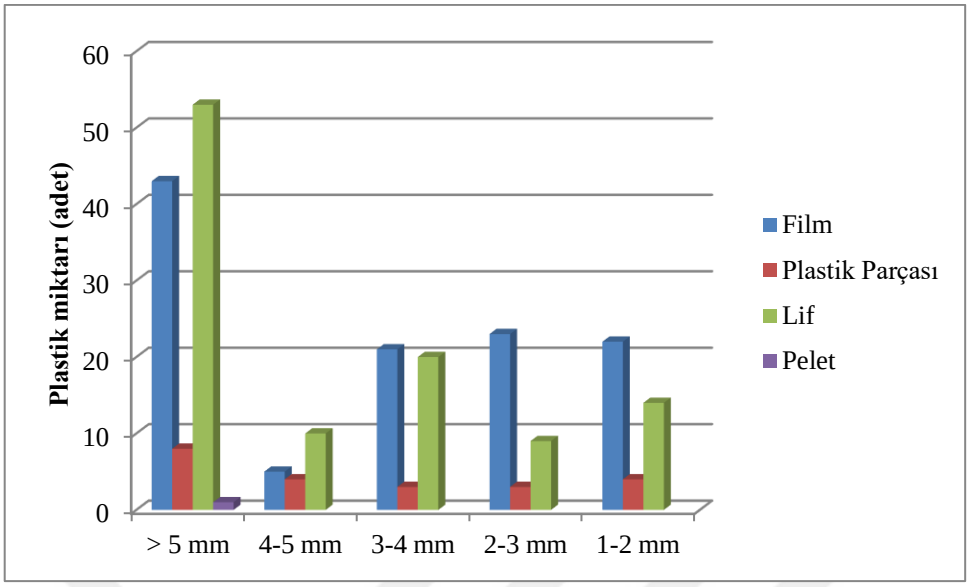
Şekil 5.33: Sonbahar mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi

Kış mevsiminde 114 adet ile en fazla görünen plastik tipi filmlerdir. Onu 106 adet ile lif tipi plastikler takip etmektedir. 22 adet plastik parçası ve 1 adet pelet tespit edilmiştir. Kış mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%) Şekil 5.34'te gösterilmektedir.



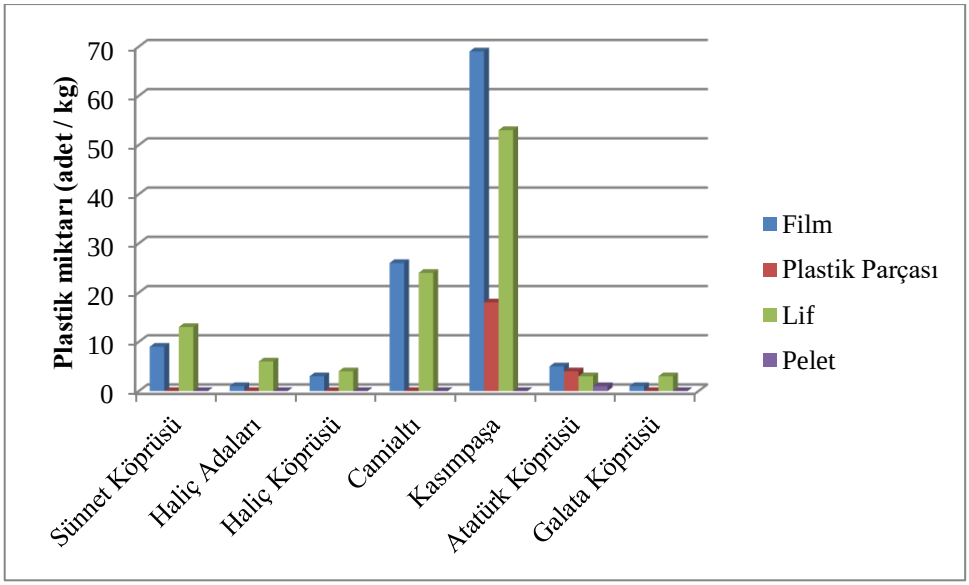
Şekil 5.34: Kış mevsiminde plastik miktarının tiplerine göre dağılımı (%)

Kış mevsiminde en fazla lif 53 adet ile 5 mm'den büyük plastikler arasında saptanırken, en az lif 9 adet ile 2-3 mm aralığında görülmüştür. Film tipi plastikler 43 adet ile en fazla 5 mm'den büyük plastikler arasında tespit edilmiş, en az ise 5 adet ile 4-5 mm aralığındaki mikroplastikler arasında belirlenmiştir. Plastik parçaları 8 adet ile pelet tipi plastikler ise 1 adet ile en fazla 5 mm'den büyük plastikler arasında saptanmıştır. Kış mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi Şekil 5.35'te gösterilmektedir.



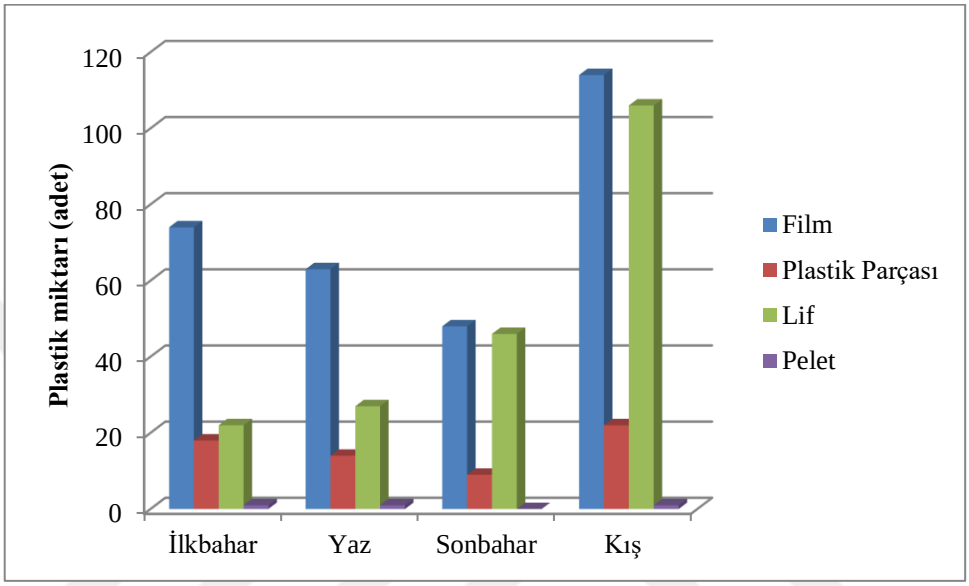
Şekil 5.35: Kış mevsiminde plastik tiplerinin boyut aralığına göre değişimi

Kış mevsiminde en fazla film 69 adet/kg ile Kasımpaşa istasyonunda görülürken, en az film 1'er adet/kg ile Haliç Adaları ve Galata Köprüsü istasyonlarında tespit edilmiştir. En fazla lif tipi plastiğe Kasımpaşa istasyonunda (53 adet/kg) rastlanmıştır. 3'er adet/kg ile Atatürk Köprüsü ve Galata Köprüsü en az lif tipi plastiğin görüldüğü istasyonlardır. Plastik parçası 18 adet/kg ile Kasımpaşa istasyonunda saptanırken, 1 adet/kg ile pelet tipi plastik yalnızca Atatürk Köprüsü istasyonunda görülmüştür. Kış mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi Şekil 5.36'da gösterilmektedir.



Şekil 5.36: Kış mevsiminde plastik tiplerinin istasyonlara göre değişimi

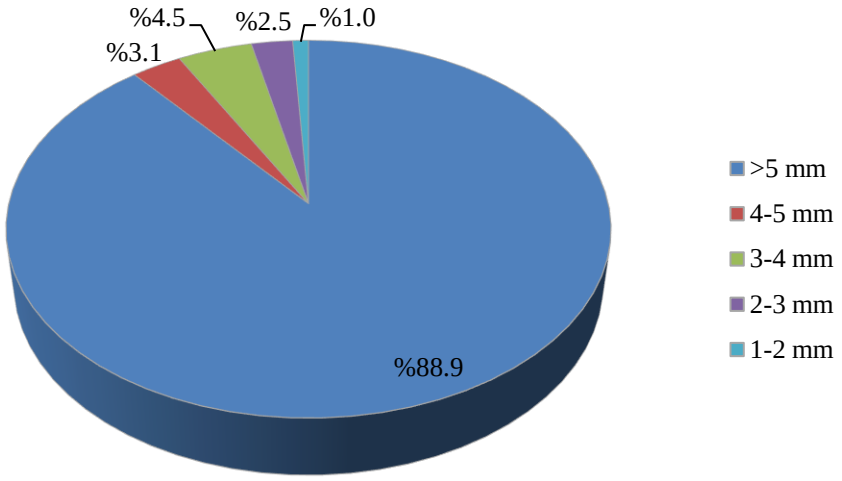
İstasyon ve boyut farkı gözetmeksizin plastiklerin tiplerine göre mevsimsel değişimi incelendiğinde her mevsim film tipi plastiklerin yoğunlukta olduğu belirlenmiştir. Onu sırasıyla lifler ve plastik parçaları takip etmektedir. Pelet tipi plastikler ise sonbaharda tespit edilmemekle birlikte ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde en az görünen plastik tipidir. Plastiklerin tiplerine göre mevsimsel değişimi Şekil 5.37'de gösterilmektedir.



Şekil 5.37: Plastiklerin tiplerine göre mevsimsel değişimi

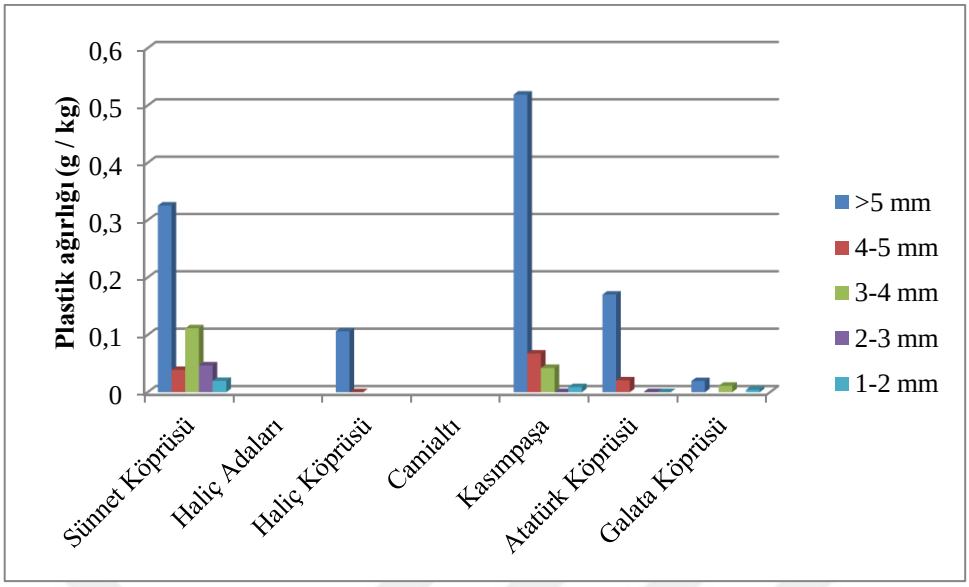
5.1.4. Ağırlık Analizi

Çalışmada belirlenen plastikler ağırlıklarına göre değerlendirildiğinde yedi farklı istasyondan mevsimlik olarak alınan numunelerde, tüm boyut aralıkları için plastik ağırlığı toplam 11.1258 g olarak belirlenmiştir. Bunlar içerisinde 5 mm'den büyük plastikler 9.8944 g olup, bu miktarı 0.5046 g ile 3-4 mm aralığındaki mikroplastikler takip etmiştir. 4-5 mm aralığındaki mikroplastikler 0.3405 g iken, 2-3 mm aralığındaki mikroplastikler 0.2797 g, 1-2 mm aralığındaki mikroplastikler ise 0.1066 g olarak tespit edilmiştir. Plastik ağırlıklarının boyutlarına göre dağılımı (%) Şekil 5.38'de gösterilmektedir.



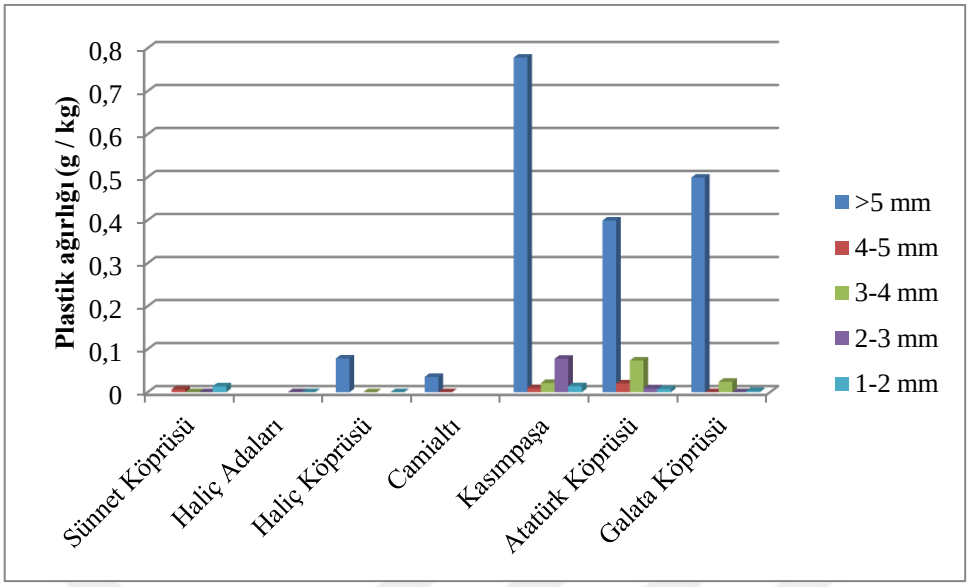
Şekil 5.38: Plastik ağırlıklarının boyutlarına göre dağılımı (%)

İlkbahar mevsiminde tüm istasyonlarda en yüksek ağırlık değerlerinin 5 mm'den büyük plastiklere ait olduğu görülmüştür. Bunlar içerisinde 0.5189 g/kg ile en fazla ağırlığa Kasımpaşa istasyonunda ulaşılırken onu 0.3256 g/kg ile Sünnet Köprüsü istasyonu takip etmiştir. 4-5 mm aralığındaki mikroplastiklerin ağırlıkları belirlendiğinde en yüksek ağırlık değeri 0.0674 g/kg ile Kasımpaşa istasyonunda görülmüştür. 3-4 mm, 2-3 mm ve 1-2 mm aralığındaki mikroplastiklerde ise en yüksek ağırlık değerleri sırasıyla 0.1115 g/kg, 0.0466 g/kg ve 0.0196 g/kg ile Sünnet Köprüsü istasyonuna aittir. İlkbahar mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi Şekil 5.39'da gösterilmektedir.



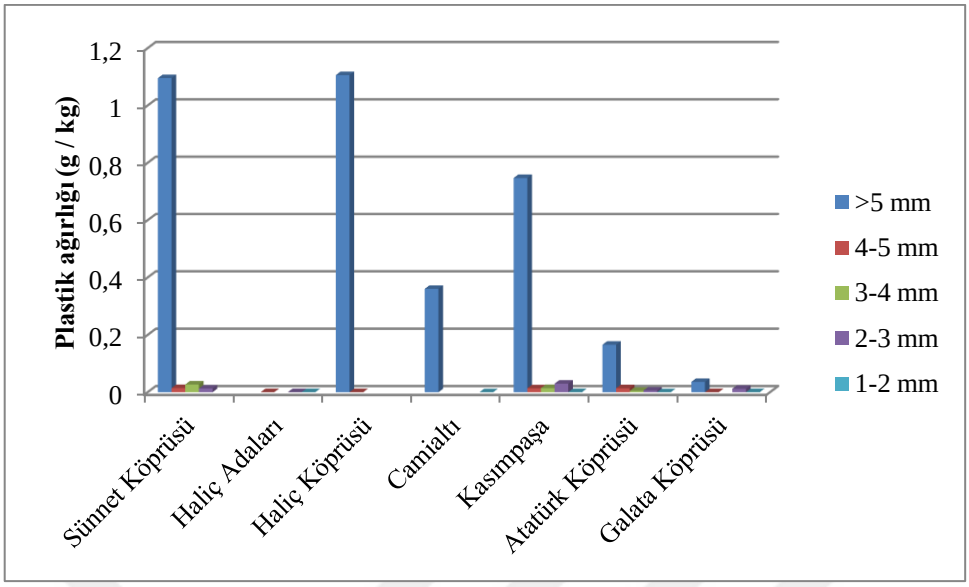
Şekil 5.39: İlkbahar mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi

Yaz mevsiminde en yüksek ağırlık değerlerine çoğunlukla 5 mm'den büyük plastiklerde rastlanmıştır. Bunlar içerisinde en fazla ağırlık 0.7780 g/kg ile Kasımpaşa ve 0.4990 g/kg ile Galata Köprüsü istasyonlarında görülmüştür. 4-5 mm ve 3-4 mm aralığındaki mikroplastiklerin ağırlıkları belirlendiğinde en yüksek ağırlık değerleri sırasıyla 0.0204 g/kg ve 0.0737 g/kg ile Atatürk Köprüsü istasyonunda görülmüştür. 2-3 mm aralığındaki mikroplastikler tartıldığında en fazla ağırlık 0.0778 g/kg ile Kasımpaşa istasyonunda tespit edilmiştir. Düşük ağırlık değerlerine sahip 1-2 mm aralığındaki mikroplastikler için en yüksek ağırlık değeri 0.0141 g/kg ile Kasımpaşa istasyonuna aittir. Yaz mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi Şekil 5.40'ta gösterilmektedir.



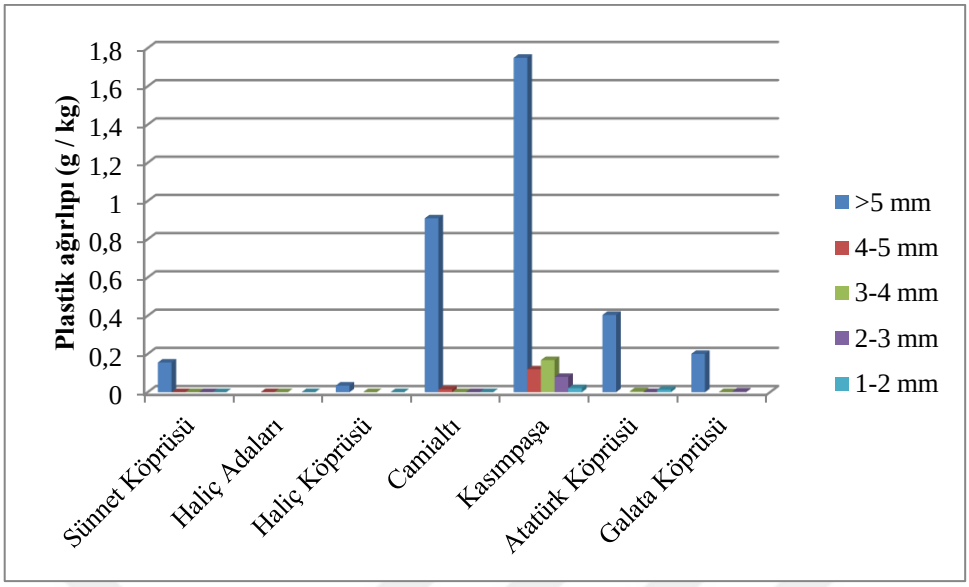
Şekil 5.40: Yaz mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi

Sonbahar mevsiminde en yüksek ağırlık değerlerinin Haliç Adaları dışında 6 istasyonda da 5 mm'den büyük plastiklere ait olduğu görülmüştür. Bunlar içerisinde 1.1057 g/kg ile en fazla ağırlık Haliç Köprüsü istasyonunda saptanırken, onu 1.0956 g/kg ile Sünnet Köprüsü istasyonu takip etmiştir. 4-5 mm ve 3-4 mm aralığındaki mikroplastiklerin ağırlıkları belirlendiğinde en yüksek ağırlık değerleri sırasıyla 0.0145 g/kg ve 0.0270 g/kg ile Sünnet Köprüsü istasyonunda görülmüştür. En düşük ağırlık değerlerine ise 0.0001 g/kg ile 1-2 mm aralığındaki mikroplastiklerde rastlanmıştır. Sonbahar mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi Şekil 5.41'de gösterilmektedir.



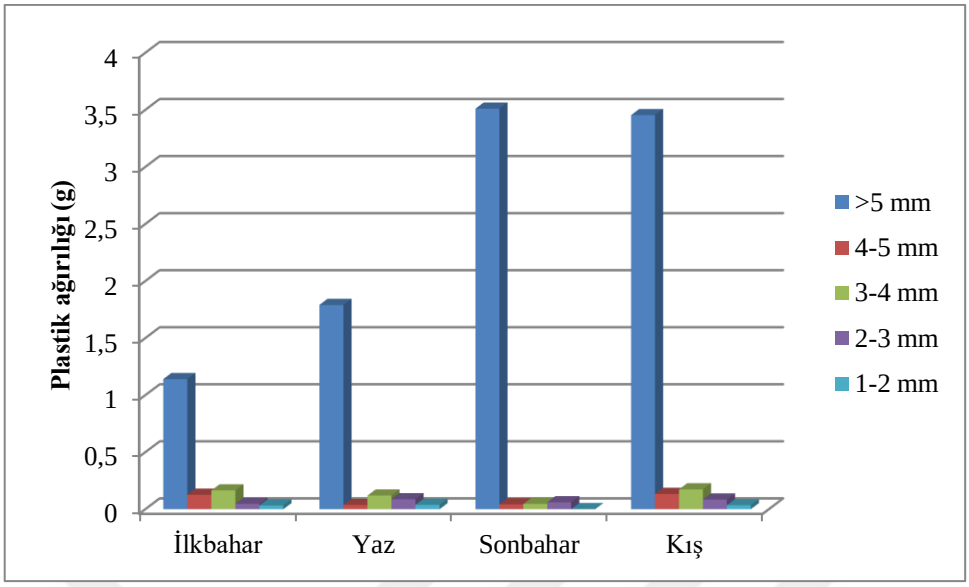
Şekil 5.41: Sonbahar mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi

Kış mevsiminde en yüksek ağırlık değerlerinin Haliç Adaları dışındaki diğer altı istasyonda da 5 mm'den büyük plastiklere ait olduğu belirlenmiştir. Bunlar içerisinde 1.7494 g/kg ile en fazla ağırlığa sahip istasyon Kasımpaşa iken onu 0.9096 g/kg ile Camialtı istasyonu takip etmiştir. 4-5 mm, 3-4 mm, 2-3 mm ve 1-2 mm aralığındaki mikroplastiklerin ağırlıkları tespit edildiğinde en yüksek ağırlık değerleri sırasıyla 0.1195 g/kg, 0.1682 g/kg, 0.0802 g/kg ve 0.0216 g/kg ile Kasımpaşa istasyonunda görülmüştür. En düşük ağırlık değerleri 0.0001 g/kg ile 1-2 mm aralığındaki mikroplastiklere ait olmak üzere Haliç Adaları, Haliç Köprüsü ve Camialtı istasyonlarında görülmüştür. Kış mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi Şekil 5.42'de gösterilmektedir.



Şekil 5.42: Kış mevsiminde plastik ağırlıklarının istasyonlara göre değişimi

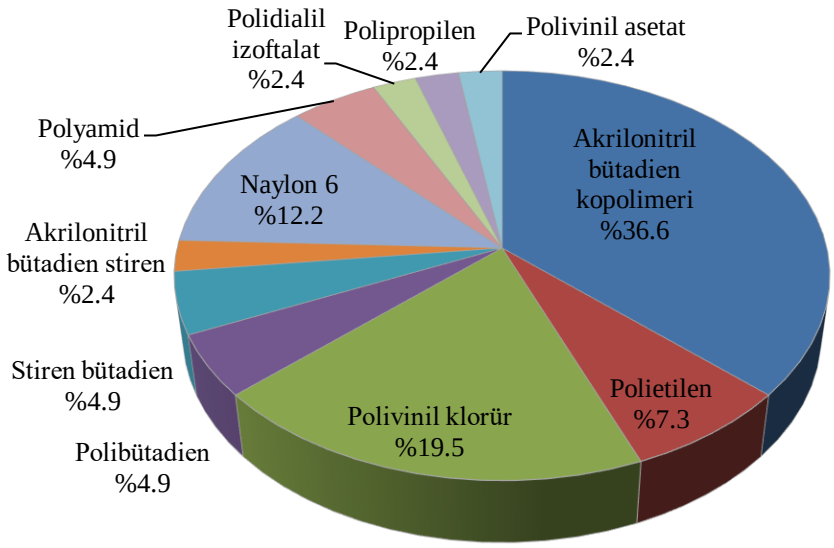
Çalışmada numune alınan tüm istasyonlardan elde edilen toplam plastik ağırlıklarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 3.8813 g ile en yüksek değer kış mevsimine aittir. Onu 3.6601 g ile sonbahar mevsimi takip etmiştir. Yaz mevsiminde 2.0726 g olan plastik ağırlığı, ilkbahar mevsiminde 1.5118 g olarak belirlenmiştir. Her mevsim ağırlık değerlerinin en fazla olduğu boyutun 5 mm'den büyük plastiklere ait olduğu tespit edilmiştir. Bunlar içerisinde 3.5103 g ile sonbaharda en yüksek değer tespit edilirken, onu 3.4537 g ile kış mevsimi takip etmiştir. En düşük ağırlık değerlerine sahip 1-2 mm aralığındaki mikroplastikler 0.0385 g ile en fazla yaz mevsiminde görülmüştür. Plastik ağırlıklarının boyutlarına göre mevsimsel değişimi Şekil 5.43'te gösterilmektedir.



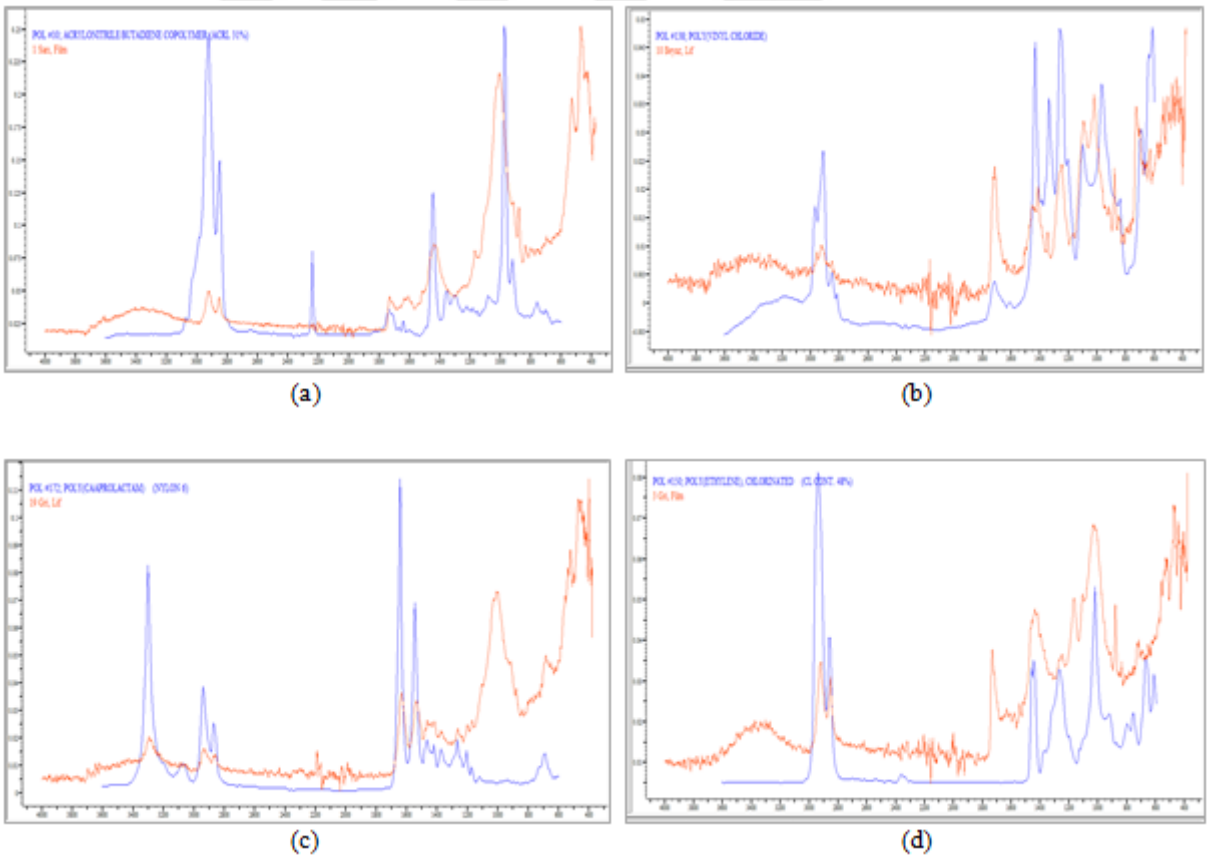
Şekil 5.43: Plastik ağırlıklarının boyutlarına göre mevsimsel değişimi

5.1.5. FTIR Analizi

Çalışmada elde edilen mikroplastiklere ait FTIR analizi sonuçları değerlendirildiğinde, numunelerde en fazla akrilonitril bütadien kopolimeri (%36.6) tespit edildiği görülmüştür. Onu %19.5 ile polivinil klorür, %12.2 ile naylon 6 ve %7.3 ile polietilen takip etmiştir. Mikroplastiklerin polimer yapılarına göre dağılımı (%) Şekil 5.44'te gösterilmektedir. Haliç sedimanında en yaygın görülen dört farklı polimerin FTIR-ATR sonuçları Şekil 5.45'te verilmiştir.



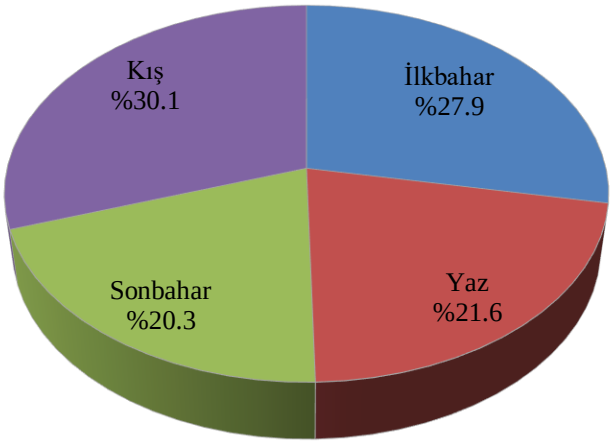
Şekil 5.44: Mikroplastiklerin polimer yapılarına göre dağılımı (%)



Şekil 5.45: Haliç'te elde edilen en yaygın dört farklı polimerin FTIR-ATR sonuçları (a) akrilonitril bütadien kopolimeri (b) polivinil klorür (c) naylon 6 (d) polietilen

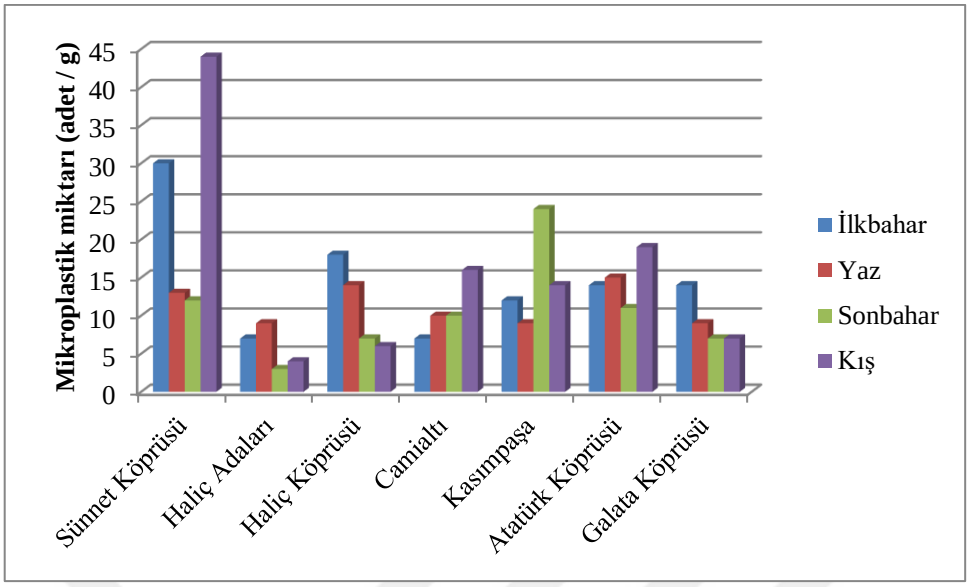
5.2. MİKROPLASTİK KARAKTERİZASYONU (1 µm-1 mm)

Mayıs 2017-Şubat 2018 tarihleri arasında yedi farklı istasyondan mevsimlik olarak alınan sediman numunelerinde 1 µm-1 mm aralığında tespit edilen mikroplastik miktarı adet/g kuru sediman olarak belirlenmiş ve kısaca "adet/g" olarak ifade edilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler incelendiğinde 1 mm-1 µm aralığında mikroplastik sayısının toplamda 365 adet olduğu görülmüştür. En fazla mikroplastik 110 adet ile kış numunelerinde bulunurken, ilkbaharda 102 adet, yazın 79 adet ve sonbaharda ise 74 adet mikroplastik bulunmuştur. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik miktarının mevsimsel dağılımı (%) Şekil 5.46'da gösterilmektedir.



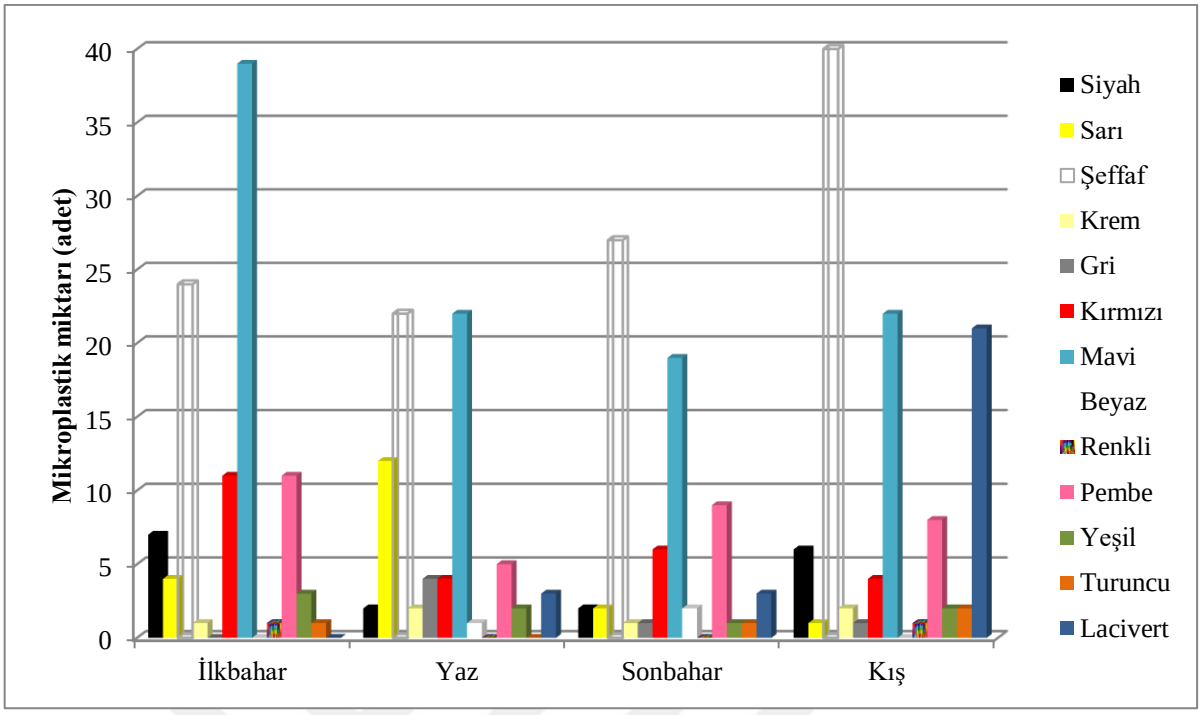
Şekil 5.46: 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik miktarının mevsimsel dağılımı (%)

İstasyonlar arası dağılım incelendiğinde mikroplastik miktarının en fazla olduğu istasyonun 99 adet ile Sünnet Köprüsü olduğu belirlenmiştir. Onu 59'er adet mikroplastik ile Kasımpaşa ve Atatürk Köprüsü takip etmiştir. En az mikroplastik miktarına ise 23 adet ile Haliç Adaları ve 37 adet ile Galata Köprüsü istasyonlarında rastlanmıştır. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik miktarının istasyonlara göre mevsimsel değişimi Şekil 5.47'de gösterilmektedir.



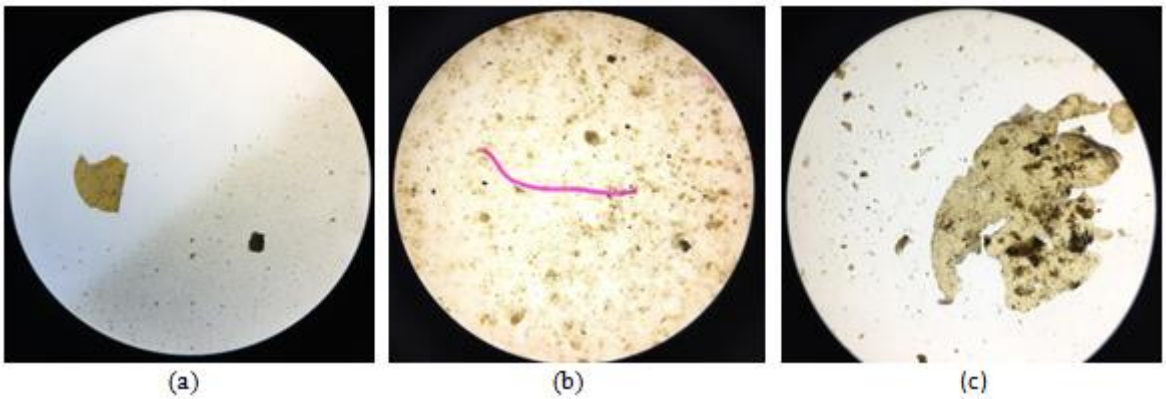
Şekil 5.47: 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik miktarının istasyonlara göre mevsimsel değişimi

1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastikler renkleri açısından tüm mevsimler için değerlendirildiğinde şeffaf ve mavi renklerin sırasıyla 113 ve 102 adet ile diğer renklere göre daha baskın olduğu görülmüştür. Onları pembe, lacivert ve kırmızı renkleri sırasıyla 33, 27 ve 25 adet ile takip etmiştir. En az görünen renkler ise sırasıyla 2, 3 ve 4 adet ile renkli, beyaz ve turuncu renkleridir. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin renklerine göre mevsimsel değişimi Şekil 5.48'de gösterilmektedir. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik renklerinin istasyonlara göre dağılımı (adet/g) EK-1'de verilmiştir.

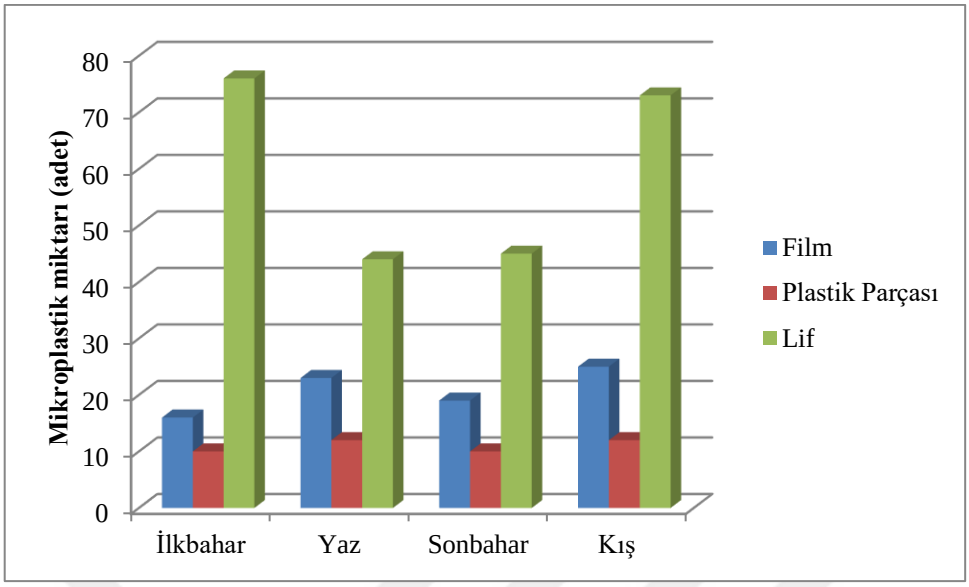


Şekil 5.48: 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin renklerine göre mevsimsel değişimi

1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastikler tiplerine göre incelendiğinde tüm mevsimler için liflerin 238 adet ile en çok rastlanan mikroplastikler olduğu belirlenmiştir. Onu 83 adet ile filmler ve 44 adet ile plastik parçaları takip etmiştir. Mikroplastiklerin tanımlanan tiplerinin mikroskop görüntüleri Şekil 5.49'da sunulmuştur. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin tiplerine göre mevsimsel değişimi Şekil 5.50'de gösterilmektedir. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik tiplerinin istasyonlara göre dağılımı (adet/g) EK-2'de verilmiştir.



Şekil 5.49: 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin tanımlanan tiplerinin mikroskop görüntüleri (a) plastik parçası (b) lif (c) film



Şekil 5.50: 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastiklerin tiplerine göre mevsimsel değişimi

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Deniz çöpleri, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), Hükümetlerarası Oşinografik Komisyon (IOC-UNESCO), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Avrupa Birliği Deniz Strateji Çerçeve Direktifi (EU MSFD) gibi birçok organizasyon ve program tarafından çevresel, ekonomik, estetik, insan sağlığı ve güvenliği açısından küresel bir tehdit olarak kabul edilmektedir (Moncheva ve diğ., 2016). Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi-İyi Çevresel Durum (MSFD-GES) tarafından yayınlanan Avrupa Denizlerindeki Deniz Çöplerinin İzlenmesi Kılavuzu ile üye devletlerin deniz çöplerinin toplanması, rapor edilmesi ve verilerin değerlendirilmesi konusunda bilgilenmesi ve çalışmalara başlaması hedeflenmektedir (UNEP, 2016). Deniz çöplerinin büyük bir çoğunluğunu oluşturan plastikler ve onların daha küçük formu olan mikroplastikler tüm dünyayı olduğu gibi ülkemiz denizlerini de tehdit etmektedir. Karşı karşıya olduğumuz tehlikenin boyutlarını belirleyebilmek için mikroplastiklerin miktarı ve karakterizasyonu üzerine yapılan projeler büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, İstanbul Boğazı'nın en önemli araştırma noktalarından biri olan Haliç'ten alınan sediman numunelerinde >5 mm plastiklerin ve 1 µm-5 mm arasında yer alan mikroplastiklerin tayini yapılmıştır. Tespit edilen plastik ve mikroplastikler miktar, boyut, renk, tip ve ağırlık açısından incelenmiştir. Bununla birlikte 1-5 mm arasında yer alan mikroplastiklerin polimer yapıları belirlenmiştir. Yoğun bir deniz trafiğine ve rekreasyonel kullanıma sahip, özel bir bölge olarak değerlendirilen Haliç'te mikroplastiklerin nicel ve niteliğinin ortaya konulması amacıyla bu bölgede gerçekleştirilen ilk çalışma olması bu çalışmanın önemini arttırmaktadır.

Çalışmada dört mevsim sonunda 5 mm'den büyük, 4-5 mm, 3-4 mm, 2-3 mm ve 1-2 mm aralığına giren toplam plastik miktarının (>5 mm plastik ve 1-5 mm aralığındaki mikroplastikler) 566 adet olduğu belirlenmiştir. 1 µm-1 mm aralığındaki toplam mikroplastik miktarı ise 365 adet olarak tespit edilmiştir. İlkbahar, yaz ve sonbahar numunelerinde birbirine yaklaşık değerler saptanırken kışın en yüksek değerlerin elde edilmesinin

sebeplerinden birinin bölgede küçük ölçekli balıkçılık faaliyetlerinin artması olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte kış mevsimde dönemsel yağışların etkili olabileceği de tahmin edilmektedir. Lima ve diğ. (2015) Brezilya'nın kuzeydoğu kıyısında bulunan Goiana Haliç'inde mevsimsel olarak yaptıkları çalışmada yağmur mevsiminden sonra mikroplastik değerlerinin daha yüksek olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Corcoran ve diğ. (2015)'nin Kanada'da Ontario Gölü'nde ve Fischer ve diğ. (2016)'nin İtalya'da Bolsena ve Chiusi göllerinde yürüttükleri çalışmalarında yağmur sonrası dönemlerde mikroplastik değerlerinin daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Gülbaz ve Kazezyılmaz-Alhan (2017) Alibeyköy Havzası'nda su kalitesini inceledikleri çalışmalarında, toplam askıda katı madde miktarının yağış sonrası yükseldiği sonucunu elde etmişlerdir. Kalaycı (2017), Haliç'te sedimantasyon hızını araştırdığı çalışmasında toplam askıda katı madde miktarının kış aylarında daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Yüksel ve diğ. (1999)'nin Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin Haliç'e etkilerini inceledikleri araştırmalarında derelerinin taşıdığı katı madde yükünün ortalama 550 ton/gün iken, yağış sonrası dönemlerde ortalama 2500 ton/gün değerine ulaştığı ortaya konulmuştur. Bu sonuçlar kış mevsimindeki yüksek plastik ve mikroplastik değerlerinde yağmurların da etkili olabileceği fikrini desteklemektedir. Bunun yanı sıra numune alma döneminde Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin Haliç ile birleştiği noktada yapılan dip çamuru tarama çalışmalarının da sonuçlara etki ettiği düşünülmektedir.

Analiz sonuçlarına göre en fazla plastiğe (>5 mm plastik ve 1 µm-5 mm aralığındaki mikroplastikler) Sünnet Köprüsü ve Kasımpaşa istasyonlarında rastlanırken, en az plastik Haliç Adaları ve Galata Köprüsü istasyonlarında görülmüştür. Sünnet Köprüsü istasyonu konum itibariyle Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin getirdiği atık yüküne maruz kalmaktadır. Bununla birlikte Haliç'teki akıntı yönü dikkate alındığında ise plastiklerin Kasımpaşa genişliğinde birikme yapabileceği tahmin edilmektedir. Karakaş (2011) ve Eroğlu (2012), ıslah çalışmalarının Haliç'e etkilerini inceledikleri araştırmalarında askıda katı madde ve bulanıklık değerlerinin Sünnet Köprüsü ve Kasımpaşa bölgelerinde yüksek olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Katı madde yükünün barındırdığı plastikler düşünüldüğünde bu istasyonlarda plastik miktarının yüksek çıkması beklenen bir sonuç olmaktadır. Haliç Adaları bölgesi istasyonlar arasında en bakir noktadır. Adalar göçmen kuşların uğrak noktası olup martı, karabatak gibi deniz kuşlarına ve tavşanlara ev sahipliği yapmaktadır. Haliç'te gemi trafiğinin Eyüp'te sonlandığı düşünülürse Haliç Adaları'nın insan kaynaklı kirleticilerden diğer istasyonlara göre daha az etkilendiği ifade edilebilir. Galata Köprüsü istasyonu ise

Haliç'in Boğaz ile birleşme noktasında yer almaktadır. Boğaz akıntısı senenin çoğu günleri çift katmanlıdır. Yüzey akıntıları genellikle güneye doğru, alt tabakadaki akıntılar ise kuzeye doğrudur. Ancak Haliç girişinin olduğu bölgede Sarayburnu yarımadasının da etkisiyle orkoz oluşmakta ve kıyı boyunca ters yönde (kuzeye doğru) yüzey akıntıları gözlemlenmektedir (Başaraner ve diğ., 2011). Bu hareketliliğin etkisiyle bölge sedimanında plastik (>5 mm plastik ve 1 µm-5 mm aralığındaki mikroplastikler) birikiminin az olduğu düşünülmektedir.

Mikroplastiklerin boyut analizine ait sonuçlar incelendiğinde her mevsim en fazla yoğunluğun 1 mm'den küçük (1 µm-1mm) parçacıklarda olması Haliç'te gözle görülmeyen mikroplastik kirliliğine dikkat çekmektedir. Willis ve diğ. (2017), Avustralya Tazmanya'da bulunan, çevresindeki yerleşim ve sanayi alanları ile Haliç ile benzerlik gösteren Derwent Haliç'inin dip sedimanında mikroplastik kirliliğini araştırdıkları çalışmalarında 1 mm'den küçük mikroplastiklerin baskın olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Farklı bölgelerde yapılan birçok araştırmada da benzer sonuçlar belirlenmiştir (Zhao ve diğ., 2015; Munari ve diğ., 2017; Peng ve diğ., 2017). 5 mm'den büyük plastik miktarının sonbahar ve kışın yükselmesini bölgede balıkçılık faaliyetleri ile birlikte rekreasyonel kullanımın da artmasının etkilediği tahmin edilmektedir. Mikroplastiklerin boyutları onların balıklar ve diğer deniz canlıları tarafından besin zannedilerek tüketilmelerini ve bünyelerinde kalma sürelerini etkilemektedir (Abidli ve diğ., 2017). 1 mm'den küçük mikroplastikler zooplankton ve küçük omurgasızlar tarafından daha fazla tüketilirken, balıklar 1 mm'den küçük mikroplastiklerin yanı sıra 1-5 mm aralığına giren mikroplastikleri de bünyelerine almaktadır (Auta ve diğ., 2017; Baalkhuyur ve diğ., 2018; Bessa ve diğ., 2018). Yapılan çalışmalarda 1-5 mm aralığındaki büyük mikroplastiklerin balıklar tarafından tüketildiklerinde mide ve bağırsaklarda kalma sürelerinin ve ona bağlı toksik etkilerinin daha uzun olduğu (Abidli ve diğ., 2017), 5 µm civarındaki küçük mikroplastiklerin ise balıklarda ciğerlere kadar ulaşabildiği tespit edilmiştir (Jovanovic, 2017). Jabeen ve diğ. (2017), Çin'de pelajik ve demersal (dipte veya dibe yakın bölgelerde yaşamını sürdüren) balık türlerinin mide ve bağırsaklarında bulunan mikroplastik ve mezoplastikleri inceledikleri araştırmalarında plastik boyutlarını 2 mm'den küçük, 2-5 mm ve 5 mm'den büyük olarak sınıflandırmışladır. Tüm balık türlerinde her boyut aralığında plastik görülmekle birlikte 2 mm'den küçük (yaklaşık %35) ve 2-5 mm aralığındaki (yaklaşık %40) mikroplastiklerin daha yoğun olduğu sonucunu belirlemişlerdir. Bessa ve diğ. (2018) Portekiz'in Mondego Haliç'inde üç balık türü üzerinde yaptıkları çalışmalarında, balıklarda belirlenen mikroplastiklerin yaklaşık %85'inin 1-5 mm aralığında olduğunu tespit etmişlerdir.

Doğrudan ve dolaylı yollardan insanlara ulaşabilen mikroplastiklerin 150 µm'den küçükleri lenflerde ve 100 µm'den küçükleri damarlarda absorbe olabilirken, 20 µm'den küçükleri organlara girebilmekte ve 0.1 µm'den küçükleri ise kan-beyin ve plasenta bariyerinde yer değiştirebilmektedir (Barboza ve diğ., 2018). Mikroplastiklerin deniz canlılarının tüketim alışkanlıkları ve insan sağlığı üzerindeki etkileri boyut sınıflandırmasının önemine dikkat çekmektedir.

Çalışmada Sünnet Köprüsü istasyonunda 3-4 mm, 1-2 mm ve 1 mm'den küçük (1 µm-1mm) mikroplastiklerin yoğun şekilde bulunmasının nedeninin bölgenin Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin getirdiği atık yüküne maruz kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin başta evsel atıklar olmak üzere çeşitli atık yüklerinden etkilendiği bilinmektedir (Dorak ve Albay, 2011). Bu dereler kirlilik, işgaller ve yanlış arazi kullanımı nedeniyle İstanbul'un doğal yapısını kaybetmiş dereleri arasında yer almaktadır (Dinç ve Bölen, 2014). Yapılan araştırmalar çok küçük olmaları, ayrışmamaları ve yüzücü olmalarından dolayı klasik arıtma yöntemleri ile arıtılamayan mikroplastiklerin denizlere karıştığını göstermektedir (Ziajahromi ve diğ., 2016; Talvitie ve diğ., 2017; Akarsu ve diğ., 2017; Lares ve diğ., 2018). Benzer şekilde, Ceylan (2017) tarafından Karaman Atık Su Arıtma Tesisi'nde yapılan araştırmada atık sudaki mikroplastiklerin sadece %57.51 oranında tutulabildiği sonucu elde edilmiştir. Lares ve diğ. (2018), atık su arıtma tesisinde geleneksel aktif çamur prosesine pilot ölçekli bir membran biyoreaktör ekleyerek mikroplastiklerin tutulmasına etkisini incelemişlerdir. Aktif çamur prosesi çıkış suyunda 1.0 mikroplastik/L olarak buldukları değerin, membran biyoreaktör çıkışında 0.4 mikroplastik/L'ye düştüğünü belirlemiştir. Bu çalışmaların sonuçları atık su arıtma tesislerinin arıtım proseslerinde iyileştirme ve yenilemeye gidilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Haliç'te gerçekleştirilen mevcut çalışmanın sonuçları mikroplastikler içerisinde 1-5 mm aralığında sarı ve şeffaf renkleri baskınken, 1 mm'den küçük parçacıklarda şeffaf ve mavi rengin yoğun olarak bulunduğunu ortaya koymuştur. Baskın rengin şeffaf olmasının ambalaj atıkları, poşetler ve misina parçalarının bölgede yoğun olarak bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Gündoğdu ve Çevik (2017), Mersin ve İskenderun Körfez'lerinde yaptıkları çalışmalarda tespit ettikleri plastik parçalarında %33.3 ile şeffaf rengin en fazla görüldüğünü raporlamışlardır. Benzer şekilde, Gürbüz (2017), Marmara Denizi'nde mikroplastik kirliliğini araştırdığı çalışmasında sediman örneklerinde şeffaf rengin yoğunluğuna dikkat çekmiştir.

Peng ve diğ. (2017), Çin'de Changjiang Haliç'inin sedimanında en fazla şeffaf renkli mikroplastiklerin (%42) bulunduğunu rapor etmişlerdir. Bununla birlikte bu çalışmalarda araştırmamız sonuçlarında da görülen siyah, kırmızı, yeşil, gri gibi farklı renklerde mikroplastikler de belirlenmiştir. Mikroplastiklerin renkleri onların balıklar ve diğer deniz canlıları tarafından fark edilip besin sanılmalarına neden olabilmektedir (Abidli ve diğ., 2017; Bessa ve diğ., 2018). Jabeen ve diğ. (2017)'nin balıklarda belirledikleri mikroplastiklerde baskın renklerin şeffaf, mavi ve siyah olmasının yanında yeşil, kırmızı, kahverengi, pembe gibi farklı renklerde görülmüştür. Benzer şekilde Bessa ve diğ. (2018) balıklarda yoğun olarak mavi (%47) ve şeffaf (%30) renkli plastiklere rastlamıştır. Zooplanktonda rengin mikroplastik alımına etkisini araştıran çok az çalışma olmakla birlikte birçok deney, çeşitli zooplankton türlerinin şeffaf renkli mikroplastikleri kolayca aldığını ortaya koymaktadır. Ayrıca kril ve kopepod türlerinde tespit edilen mikroplastiklerin ağırlıklı olarak siyah, mavi, kırmızı renklerde olması onların farklı renkleri yuttuğunu da göstermektedir (Botterell ve diğ., 2019). Renkler plastiklerin yapısı ve ona bağlı zararlı etkileri ile ilgili bilgi de verebilmektedir. Örneğin sarımsı renkler plastiklerin yüzeyine yapışan kalıcı organik kirleticilerin ve denizlerde hareket halindeyken oksidasyon ile fotooksidasyona uğradıklarının göstergesi olmakla birlikte bu parçacıklar sindirim enzimleriyle de daha fazla etkileşim gösterebilmektedir (Pegado ve diğ., 2018).

Mikroplastikler tipleri açısından değerlendirildiğinde, 1-5 mm aralığında film tipi parçacıklara daha fazla rastlanırken, 1 mm'den küçük (1µm-1mm) parçacıkların büyük çoğunluğunun lif tipinde olduğu belirlenmiştir. Mikroplastikler için önemli bir kaynak, çamaşırların yıkanmasıyla oluşan polyester ve akrilik liflerin kanalizasyon sularına karışmasıdır. Evlerde kullanılan çamaşır makinelerinden atık su örneklemesinin yapıldığı deneyler, tek bir giysinin yıkama başına 1900'den fazla lif üretebileceğini göstermiştir. Yapılan çalışmalarla arıtma tesislerinde kullanılan mevcut yöntemlerin mikroplastikleri yeterli miktarda tutamadığının ortaya konulması, deniz ortamında bulunan büyük miktarlarda mikroplastik liflerin kanalizasyondan kaynaklanabileceğini düşündürmektedir (Browne ve diğ., 2011; Tsang ve diğ., 2017). Özellikle 1 mm'den küçük (1µm-1mm) parçacıklarda en fazla lif tipi mikroplastiğin Sünnet Köprüsü istasyonunda görülmesi, bu durumun Alibeyköy ve Kağıthane derelerinin taşıdığı atık yükünden (özellikle bu derelere deşarj edilen evsel atık sulardan) kaynaklanabileceği fikrini ortaya çıkarmaktadır. Haliç'te yoğun kullanımı olan balık ağları ve misinaların da lif miktarına etki ettiği tahmin edilmektedir. Zhao ve diğ. (2015) Çin'de

bulunan ve kentsel özelliğe sahip Jiaojiang, Oujiang ve Minjiang haliçlerinde yürüttükleri araştırmalarında üç haliç bölgesinde de lif tipi mikroplastiklerin %60'tan fazla bir oran ile diğerlerine göre daha baskın olduğunu belirlemişlerdir. Willis ve diğ. (2017) Avustralya Tazmanya'da bulunan Derwent Haliç'inin dip sedimanında lif tipi mikroplastiklerin (%87) en fazla görülen tip olduğunu saptamışlardır. Peng ve diğ. (2017), Çin'de Changjiang Haliç'inin sedimanında %93 ile liflerin dominant olduğunu rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Gürbüz (2017) Marmara Denizi'nde lif tipi mikroplastiklerin diğerlerine göre daha yoğun olduğunu tespit etmiştir. Çalışmamızın sonuçları söz konusu literatür çalışmaları ile benzerlik göstermektedir. Yapılan birçok araştırmada planktonik formlarda, kabuklularda ve balıklarda yoğun olarak lif ve film tipi mikroplastikler belirlenmiştir (Barboza ve diğ., 2018; Li ve diğ., 2018). Vendel ve diğ. (2017) Brezilya'nın kuzeydoğu sahilinde yer alan Paraiba and Mamanguape haliçlerinde bulunan balıklar üzerinde yaptıkları çalışmalarında lif tipi mikroplastiklerin baskın olduğunu (%90) saptamışlardır. Bessa ve diğ. (2018) Portekiz'in Mondego Haliç'inin balıklarında %96 gibi yüksek oranda lif tipi mikroplastiğin varlığını rapor etmişlerdir. Güven ve diğ. (2017) Akdeniz'de yaptıkları çalışmalarında, balıkların mide ve bağırsaklarında en fazla rastlanan mikroplastik tipinin lifler (%70) olduğunu ve aynı bölgede deniz sedimanında da liflerin yoğun bulunduğunu belirlemişlerdir. Steer ve diğ. (2017) batı İngiliz Kanalı'nda balık larvalarında tanımladıkları mikroplastiklerin %66'sının mavi lif olduğunu ve yutulan mikro liflerin su örneklerinde tanımlananlara yakından benzediğini belirtmişlerdir. Su ve sedimanda tespit edilen mikroplastik tiplerinin aynı ortamdaki canlılarda da görülmesi besin zincirine katılımlarının tespiti açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada tespit edilen 5 mm'den büyük plastiklerin ağırlıklarının tüm numune alma dönemlerinde diğerlerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Genel olarak plastiklere (>5 plastik ve 1-5 mm mikroplastik) ait ağırlık değerleri boyut aralıkları ile doğru orantılı olarak değişim göstermektedir. 3-4 mm aralığındaki mikroplastiklerin ağırlıkça 4-5 mm aralığındaki mikroplastiklerden fazla olması, 3-4 mm aralığındaki mikroplastiklerin sayıca üstün olmaları ile açıklanabilir. Baini ve diğ. (2018) Toskana kıyılarında yaptıkları çalışmalarında çoğunu polietilen ve polipropilen oluşturduğu, <0.5 mm-5 mm aralığında, 69161.2 adet/km^2 ve 41.1 g/km^2 plastik parçası belirlemişlerdir. Munari ve diğ. (2017) Terra Nova Körfezi sedimanında saptadıkları çoğu stiren bütadien stiren kopolimerinden oluşan, 0.3-22 mm aralığında, 1661 adet/m^2 plastiğin ağırlığını 3.14 g/m^2 olarak raporlamışlardır. Yapılan çalışmalar plastik

ağırlıklarının, plastiklere ait boyut, miktar ve polimer özelliklerinden etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda, 1-5 mm aralığındaki mikroplastikler polimer yapıları açısından incelendiğinde, en çok rastlanan akrilonitril bütadien kopolimerinin çoğunlukla sarı renkli, film tipinde mikroplastiklerden kaynaklandığı görülmüştür. Özellikle ilkbahar ve yaz mevsiminde, Sünnet Köprüsü istasyonunda yoğun olarak görülen bu parçacıkların bölgede eğlence amacıyla yapılan etkinlikler (denize bir iple bağlanan balonların kıyıdan patlatılması ile oynanan oyunlar gibi) nedeniyle oluştuğu düşünülmektedir. Balonların hammaddesinin kauçuk olması ve akrilonitril bütadien kauçukların plastik sektöründe yoğun olarak kullanılması tahminleri doğrulamaktadır. Bu mikroplastiklerin eğlence etkinlikleri sonucu olmasa dahi hammaddesi kauçuk olan malzemelerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Güven ve diğ. (2017)'nin kauçuk parçacıkların akrilonitril bütadien veya kloropren polimerden oluştuğunu tespit eden çalışmaları da düşüncemizi desteklemektedir. Sünnet Köprüsü istasyonunda rastlanan akrilonitril bütadien kopolimeri kökenli olduğu belirlenen mikroplastikler, siyah renkte olsaydı bu durumda mikroplastiklerin kaynağının araç lastiklerinin yıpranıp, aşınmasıyla ortaya çıkan lastik parçacıklarından kaynaklanmış olabileceği düşünülebilirdi. Ancak, sarı renkli, film tipinde mikroplastikler olması bu düşüncenin doğru olmadığını göstermiştir. Munari ve diğ. (2017) Ross Denizi, Terra Nova Körfezi sedimanında tespit ettikleri plastiklerin %94.13'ünün stiren bütadien stiren kopolimerinden oluştuğunu belirlemişlerdir.

Mikroplastik örneklerinde (1-5 mm) polimer tiplerinin, akrilonitril bütadien kopolimeri (%36.6) > polivinil klorür (19.5) > naylon 6 (%12.2) > polietilen (%7.3) > diğerleri (%24.4) olmak üzere sıralandığı belirlenmiştir. Polivinil klorür ve polietilen en yaygın kullanılan plastik türleri olduğundan bu çalışmada olduğu gibi sedimanda mikroplastik kirliliği ile ilgili yapılan birçok çalışmada en fazla karşılaşılan polimer tiplerini oluşturmaktadır (Martins ve Sobral, 2011; Vienello ve diğ., 2013; Dekiff ve diğ., 2014; Tsang ve diğ., 2017; Rodrigues ve diğ., 2018). Lif tipi mikroplastiklerin oluşturduğu Naylon 6 yoğunluğunun ise misina ve balık ağlarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Pelajik ve bentik deniz ortamında canlılarda mikroplastik incelemesi yapan birçok araştırmada, balıklarda sıklıkla polietilen varlığı tespit edilirken, kabuklular ve plankton türlerinde polistiren parçacıkların fazlalığı dikkat çekmektedir. Düşük yoğunluğa sahip polietilen su sütununda yüzme potansiyeline sahip

olduğundan özellikle pelajik balıklar için risk teşkil etmekte, daha yüksek yoğunluğa sahip polistiren ise sedimanda birikim göstererek pelajik ve demersal organizmalar için tehdit oluşturmaktadır (de Sá ve diğ., 2018; Botterell ve diğ., 2019). Bessa ve diğ. (2018)'nin demersal türler arasında yer alan levrek, mercan ve pisi balıkları üzerine yaptıkları araştırmalarında tanımladıkları polimer tipleri polyester (%31), sentetik selüloz elyaf (%30), polipropilen (%14), poliakrilonitril (%14), politilen (%6), polyamid ve naylon 6 (%5)'dır. Tetu ve diğ. (2019) çalışmalarında polietilen ve polivinil klorürün en önemli fotosentetik bakterilerden olan *Prochlorococcus*'un gelişimine ve üretkenliğine etki ettiğini tespit etmişlerdir. Bu durum denizlerde oksijen kaynağı olan fitoplankton topluluklarının da tehdit altında olduğunu göstermektedir. Polivinil klorürün nörolojik ve genetik değişimlere, stirenin kan hücreleri ve organlarda bozukluğa neden olması ile birlikte özellikle plastiklerin yapısında bulunan bisfenollerin çocuk gelişimine, beyin ve sinir hücrelerine zararlı etkileri ve kısırlığa sebebiyet vermesi göz önüne alındığında mikroplastiklerin polimer yapılarının tespitinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Mikroplastiklerin miktarı, boyutu, parçacık şekli, rengi, polimer yapısı, yüzey alanı, kalıcılığı, kirletici ve katkı maddesi içeriği onların kaderini ve toksikolojik özelliklerini etkilemektedir. Bu parametrelerin daha iyi anlaşılması ve ortaya konulması gelecek risklerin değerlendirilmesinde büyük önem taşımaktadır (Hale, 2018). Günümüzde mikroplastik kirliliğinin ortaya konulması için çeşitli ülkelerde pek çok çalışma yürütüldüğü halde, henüz tespiti için kullanılacak standart bir metot kabul edilmemiştir. Analiz çalışmalarını zorlaştıran bu durumun geliştirilmesi ile kirlilik tespiti için yapılacak çalışmaların artarak ilerleyeceği düşünülmektedir. Farklı ülkelerin deniz ve haliç sedimanlarında mikroplastik kirliliğinin boyutunu ortaya çıkaran araştırma sonuçları, çalışmamızın sonuçları ile karşılaştırmalı olarak Tablo 6.1'de sunulmaktadır.

Tablo 6.1: Dünyanın farklı alanlarındaki haliç ve deniz sedimanlarında mikroplastik miktarları ve karakteristik özellikleri

Ülke	Konum	Miktar	Boyut Aralığı	Renk	Tip	Ağırlık	Polimer Türü*	Referans
Türkiye	Haliç	0 - 140 adet/kg	1 - > 5 mm	Sarı, şeffaf, gri, beyaz, siyah, kırmızı, mavi, yeşil, renkli, krem	Film, lif, plastik parçası, pelet	11.1258 g	Akrilonitril bütadien kopolimeri, PVC, PE, NYL, ABS, PA, PP	Bu çalışma
	Haliç	3 - 44 adet/g	1 µm - 1 mm	Şeffaf, mavi, pembe, lacivert, kırmızı, sarı, siyah, yeşil, gri	Lif, film, plastik parçası	-	-	Bu çalışma
Çin	Sishili Körfezi	499.76 ± 370.07 adet/kg	< 500 - 5000 µm	-	Lif, film, plastik parçası, pelet	-	Sentetik elyaf, PE, PP, PA, PET, PS, PMMA, PU	Zhang ve diğ. (2019)
ABD	Charleston Harbor Haliç	413.8 ± 76.7 adet/m^2	63 - ≥ 500 µm	Siyah, mavi, şeffaf, gri, yeşil, kırmızı, beyaz	Plastik parçası, lif, köpük, granül	-	-	Gray ve diğ. (2018)
	Winyah Haliç	221.0 ± 25.6 adet/m^2	63 - ≥ 500 µm	Siyah, mavi, şeffaf, gri, yeşil, kırmızı, beyaz	Plastik parçası, lif, köpük, granül	-	-	
Türkiye	Marmara Denizi	2044 adet/m^2	0.02 - 5 mm	Şeffaf, mavi, siyah, mor, kahverengi, kırmızı, yeşil, gri, beyaz, sarı	Lif, sert plastik, boya maddesi, polistiren, pelet, naylon	-	-	Gürbüz (2017)
Tayland	Tayland Körfezi	248 adet/kg	315 µm - 5 mm	Beyaz, siyah, kahverengi, mavi, yeşil	Plastik parçası, lif, film, boncuk	-	PE, PP, PEP, PS, PET, PVC, PA, EVA, PAK, PCL	Matsuguma ve diğ. (2017)
Antarktika	Terra Nova Körfezi	1661 adet/m^2	0.3 - 22 mm	-	Lif, film, plastik parçası	3.14 g	SBS, PE, PP, NYL, PVC, PS, PU, PVA, EPR	Munari ve diğ. (2017)
Çin	Changjiang Haliç	121 adet/kg	46.8 - 5000 µm	Şeffaf, mavi, siyah, sarı, kırmızı, beyaz	Lif, plastik parçası, pelet	-	Polyester, akrilik, PS, PEP, PET, sentetik elyaf	Peng ve diğ. (2017)
Avustralya	Derwent Haliç	6.63 adet/g	63 µm - 4 mm	Şeffaf, siyah, mavi, kırmızı, kahverengi	Lif, film, plastik parçası, mikro boncuk	-	-	Willis ve diğ. (2017)
Çin	Jiaojiang, Oujiang, Minjiang Haliçleri	100 – 4100 adet/m^3	0.5 - 5 mm	Şeffaf, renkli, beyaz, siyah	Lif, film, granül, pelet	-	PE, PP, PVC	Zhao ve diğ. (2015)

* **PE:** Polietilen, **PP:** Polipropilen, **PVC:** Polivinil klorür, **PET:** Polietilen tereftalat, **PA:** Polyamid, **PEP:** Polietilen polipropilen kopolimeri, **PS:** Polistiren. **EVA:** Etilvinil asetat, **PAK:** Poliakrilat, **PCL:** Polikaprolakton, **PMMA:** Polimetil metakrilat, **PU:** Poliüretan, **SBS:** Polistiren bütadien stiren, **PVA:** Polivinil alkol, **EPR:** Etline propilen kauçuk, **NYL:** Naylon 6, **ABS:** Akrilonitril bütadien stiren

Çalışmamızın sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde Haliç'in yoğun bir mikroplastik kirliliği ile karşı karşıya olduğu ortaya çıkmaktadır. Haliç'in rekreasyonel kullanımı ve balıkçılık yapılan bir bölge olması ile birlikte İstanbul'un tarih ve kültür turizmi için en değerli yeri olan Tarihi Yarımada'yı da çevrelediği göz önünde tutulduğunda plastik ve mikroplastik kirliliğiyle ilgili elde edilen sonuçlar oldukça önemlidir. Bölgede tespit edilen plastik kirliliğinin çevresel etkileri dikkate alındığında gerekli önlemlerin alınması zorunlu hale gelmektedir. Bu önlemlerin başında halkın plastik kirliliği konusunda farkındalığının arttırılması gelmektedir. Bölgede aktif şekilde yürütülen temizlik çalışmalarının kalıcı hale gelmesi için denizlere çöp atılmasının önüne geçilmesi gerekmektedir. Bunun için Haliç'in iki tarafı boyunca sahil kenarlarına plastik kirliğinin zararlarını anlatan görseller ve tabelalar yerleştirilebilir. Belediyeler kendileri veya anlaştıkları sivil toplum kuruluşları aracılığıyla özellikle ilkokullarda çocukların plastik kirliliğine karşı bilinçlenmesini sağlayacak eğitimler düzenleyebilirler. Her yıl Eylül ayının üçüncü cumartesi günü ülkemizde dahil birçok ülkede Uluslararası Kıyı Temizleme Günü düzenlenmektedir. Etkinlik kapsamında gönüllüler, sivil toplum kuruluşları ve dalgıçlar bir araya gelerek sahilleri ve deniz diplerini temizlemektedir. Toplanan çöplerin gün sonunda sergilenmesi ile kirlilik konusuna dikkat çeken buna benzer etkinliklerin artması ve halkın katılımının sağlanması için resim, fotoğraf ve kısa film yarışmaları, atölye çalışmaları gibi tanıtım faaliyetleri geliştirilebilir.

2011 yılında Almanya'nın Baltık Denizi'nde balıkçıların, gönüllü olarak, balıkçılık sırasında ağlarında çıkan çöpleri kıyıya getirmeleri üzerine kurulan Çöp Avcılığı projesi başlatılmıştır. Balıkçılara toplayacakları çöpler için özel ve büyük çuvallar, istedikleri herhangi bir limanda atıklarını bertaraf edebilmeleri için de konteynerler ücretsiz olarak verilmiştir. Böylece katılımları karşılığında finansal olarak bir destek almasalar da atık bertarafı için teşvik sağlanmıştır. Proje sonunda 2 tondan daha fazla çöp toplanmış ve toplanan çöplerin miktarlarına ve türlerine göre veri kayıtları oluşturulmuştur. Proje çeşitli medya organlarının ilgisini çekmiş ve birçok televizyon belgeseline konu olmuştur (MARLISCO, 2014). Yerel yönetimler, Haliç'te balıkçılar ile bir araya gelerek uygulaması kolay, başarılı ve farkındalık arttırıcı etkisi olmuş böyle bir projenin başlatılması için çalışmalar yürütebilirler. Hatta bütünleşik etkisi düşünüldüğünde, bunun gibi projeler Karadeniz, Ege ve Akdeniz'de de başlatılarak ulusal boyuta taşınabilir.

Plastik kirliliğin önüne geçmek için yapılacaklar arasında plastik kullanımının azaltılması büyük önem taşımaktadır. Bunun için ilk adımlardan biri plastik poşet yerine bez torbaların kullanılmasının teşvik edilmesidir. Dünya'da pek çok ülkede market poşetleri yasaklanmış veya ücretli hale getirilmiştir. Ülkemiz de 2019 yılı itibariyle plastik poşetleri ücretli yapan ülkeler arasına girmiştir. Sivil toplum kuruluşlarının başlattığı kampanyalar ile büyük şirketler, tek kullanımlık plastikler yerine alternatif paketleme yöntemlerini kullanmaya davet edilmektedir. Bu davetlerin karşılık bulması atık miktarını önemli ölçüde etkileyecektir. Bir diğer dikkat edilmesi gereken konu ise geri dönüşümdür. Bunun için halkın geri dönüşüme katılması için depozito sistemi gibi teşvik edici kampanyalar yürütülebilir. Atık azaltılması ile başlayıp atıkların bertarafına kadar uzanan atık yönetimi sürecinin aktif ve doğru bir şekilde yürütülmesi denizlerdeki plastik kirliliğinin azaltılmasına büyük katkı sağlayacaktır.

Musluk sularında ve birçok markanın şişe suyunda tespit edilen mikroplastiklerden sonra, yeni yapılan çalışmalar mikroplastiklerin insan bağırsağında da bulunduğunu göstermektedir. Viyana'da yapılan mikroplastik analizleri sonunda araştırmaya katılanların dışkılarında büyüklüğü 50 ile 500 mikrometre arasında değişen dokuz farklı plastik çeşidi tespit edilmiş ve ortalama 10 gram dışkıda 20 mikroplastik parçacık bulunmuştur (Harvey ve Watts, 2018). Kaynakları, miktarı ve etkileri göz önüne alındığında bu durumun beklenen bir sonuç olduğu düşünülebilir. Gündoğdu (2018) Türkiye'de yaptığı çalışmasında sofra tuzlarında mikroplastiğe rastlamıştır. Araştırma sonuçlarına göre 1 kg deniz tuzunda 16-84 adet, 1 kg göl tuzunda 8-102 adet ve 1 kg kaya tuzunda 9-16 adet mikroplastik belirlenmiştir. Bunlar içerisinde en yoğun görünen polimer tipinin ise polietilen ve polipropilen olduğunu saptayan çalışma tehlikenin sofralarımıza taşındığını desteklemektedir.

Son yapılan araştırmalar da göstermektedir ki mikroplastik problemi önlem alınmadıkça tehdit olmaya devam edecektir. Bu çalışma ile kara ve deniz kaynaklı birçok kirleticiye maruz kalan Haliç'in farklı noktalarındaki mikroplastik dağılımına, olası kaynaklarına ve alınabilecek önlemlere ışık tutulmaya çalışılmıştır. Mevcut çalışmanın gelecekte yapılacak araştırmalar için de kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Abidli, S., Toumi, H., Lahbib, Y., El Menif, N.T., 2017. The first evaluation of microplastics in sediments from the Complex Lagoon-Channel of Bizerte (Northern Tunisia), Water Air Soil Pollution, 228:262.

Acosta-Coley, I., Olivero-Verbel, J., 2015. Microplastic resin pellets on an urban tropical beach in Colombia, Environmental monitoring and assessment, 187(7), 435.

Akarsu, C., Kıdeyş, A.E., Kumbur, H., 2017. Evsel atık su arıtma tesislerinin sucul ekosisteme mikroplastik tehditi, Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 74(EK-1), 73-78.

Akgün, B., 2015. Haliç Sedimentinin Kirliliği ve Ağır Metal İçeriğinin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Albayrak, S., Balkıs, N., Balkıs, H., Zenetos, A., Kurun, A., Karhan, S.Ü., Lar, S.A., Balcı, M., 2010. Golden Horn Estuary: Description of the ecosystem and an attempt to assess its ecological quality status using various classification metrics, Mediterranean Marine Science, 11(2), 295-313.

Alpay, C.G., 2015. Büyükşehir Belediyeleri Deniz Kirliliği Önleme Çalışmaları ve Öneriler, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Amos, J. 2017, 19 Temmuz. Dünya 'Plastik Gezegen' olma yolunda ilerliyor, British Broadcasting Corporation(BBC), https://www.bbc.com/turkce/haberler-40663396, (ET: 27.05.2018).

Anderson, J.C., Park, B.J., Palace, V.P., 2016. Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems, Environmental Pollution, 218, 269-280.

Anfuso, G., Lynch, K., Williams, A.T., Perales, J.A., Pereira da Silva, C., et al., 2015. Comments on Marine Litter in Oceans, Seas and Beaches: Characteristics and Impacts, Annals of Marine Biology and Research, 2(1), 1008.

Avio, C.G., Gorbi, S., Regoli, F., 2017. Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat, Marine Environmental Research, 128, 2-11.

Auta, H.S., Emenike, C.U., Fauziah, S.H., 2017. Distribution and importance ofmicroplastics in themarine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions, Environment International, 102, 165–176.

Aydın, A., Sunlu, U., 2004. Güney Ege Denizi sedimentlerinde karbon ve yanabilen madde düzeylerinin araştırılması, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 21(3-4), 229-234.

Baalkhuyur, F.M., Dohaish, E.J.A.B., Elhalwagy, M.E., Alikunhi, N.M., AlSuwailem, A.M., Røstad, A., Duarte, C.M., 2018. Microplastic in the gastrointestinal tract of fishes along the Saudi Arabian Red Sea coast. Marine Pollution Bulletin, 131, 407-415.

Baini, M., Fossi, M.C., Galli, M., Caliani, I., Campani, T., Finoia, M.G., Panti, C., 2018. Abundance and characterization of microplastics in the coastal waters of Tuscany (Italy): The application of the MSFD monitoring protocol in the Mediterranean Sea, Marine Pollution Bulletin, 133, 543–552.

Balkis, N., Müftüoglu, E., Aksu, A., Sur, H.I., Apak, R., 2010. The chemical oceanographic consequences of environmental restoration projects in the Golden Horn estuary (Marmara Sea, Turkey), Environ Monit Assess, 164, 67–79.

Barboza, L.G.A., Vethaak, A.D., Lavorante, B.R.B.O., Lundebye, A.K., Guilhermino, L., 2018. Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health, Marine Pollution Bulletin, 133, 336–348.

Başaraner, M., Ali Yücel, M., Özmen, Ç., 2011. İstanbul Boğazı'nda transit gemilerin kullandığı seyir rotalarının coğrafi bilgi sistemi yardımıyla incelenmesi ve iyileştirilmesi, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 3, 75-79.

Bessa, F., Barría, P., Neto, J.M., Frias, J.P.G.L., Otero, V., Sobral, P., Marques, J.C., 2018. Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment, Marine Pollution Bulletin, 128, 575‑584.

Botterell, Z.L.R., Beaumont, N., Dorrington, T., Steinke, M., Thompson, R.C., Lindeque, P.K., 2019. Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review, Environmental Pollution, 245, 98-110.

Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011. Accumulation of microplastic on shorelines woldwide:Sources and sinks, Environmental Science Technology, 45, 9175–9179.

Büyüksırıt, T., Kuleaşan, H., 2014. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve gıda analizlerinde kullanımı, Gıda, 39(4), 235-241.

Ceylan, B., 2017. Atıksulardaki Mikroplastik Kirliliğin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review, Marine Pollution Bulletin, 62, 2588–2597.

Coleman, H.M., Kanat, G., Aydınol Türkdoğan, F.İ., 2009. Restoration of the Golden Horn Estuary (Halic), Water Research, 43, 4989–5003.

Corcoran, P.L., Norris, T., Ceccanese, T., Walzak, M.J., Helm, P.A., Marvin, C.H., 2015. Hidden plastics of Lake Ontario, Canada and their potential preservation in the sediment record, Environmental Pollution, 204, 17-25.

de Sá, L.C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T.L., Futter, M.N. 2018. Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: what do we know and where should we focus our efforts in the future?, Science of the Total Environment, 645, 1029-1039.

Dekiff, J.H., Remy, D., Klasmeier, Jörg., Fries E., 2014. Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney, Environmental Pollution, 186, 248-256.

Dinç, H., Bölen, F., 2014. İstanbul'un derelerinin fiziki yapısı, Planlama, 24(2), 107-120.

Dorak, Z., Albay, M., 2011. Alibeyköy ve Kağıthane dereleri (İstanbul)'nin bazı limnolojik özelliklerinin tespiti ve Haliç ekosistemi üzerine etkisinin araştırılması, X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi Özet Kitabı, 64.

Ediger, D., Beken, Ç., Yüksek, A., Tuğrul, S., 2016. Eutrophication in the Sea of Marmara, The Sea of Marmara Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance, Turkish Marine Research Foundation, 42, 723-736.

Ekşi, O., 2007. Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne.

Eroğlu, T., 2012. Haliç Islah Çalışmalarının Su Kalitesine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Frias, J.P.G.L., Gago, J., Otero, V., Sobral, P., 2016. Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters, Marine Environmental Research, 114, 24-30.

Galgani, F., Hanke, G., Maes, T., 2015. Global Distribution, Composition and Abundance of Marine Litter, Marine Anthropogenic Litter, SpringerOpen, 29-56.

GESAMP (The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), 2015. Sources, Fate and Effects of Microplastics In The Marine Environment: A Global Assessment, International Maritime Organization, Reports and Studies No 90, 98 p.

GESAMP (The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), 2016. Sources, Fate and Effects of Microplastics In The Marine Environment: Part Two of A Global Assessment, International Maritime Organization, Reports and Studies No 93, 221 p.

Gökburun, İ., 2017. İstanbul'da nüfusun gelişimi ve ilçelere dağılımı (1950-2015), Journal of Anatolian Cultural Research, 1 (3), 110-130.

Gray, A.D., Wertz, H., Leads, R.R., Weinstein, J.E., 2018. Microplastic in two South Carolina Estuaries: Occurrence, distribution, and composition, Marine Pollution Bulletin, 128, 223-233.

Gülbaz, S. and Kazezyılmaz-Alhan, C.M. 2017. Water quality model of Alibeyköy watershed and LID implementation, European Water, 58: 287-292.

Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997. Plastikler, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, Sağlık Bakanlığı TSH Genel Müdürlüğü, Ankara, No: 46. ISBN: 975-8088-51-3.

Gündoğdu, S. and Çevik, C., 2017. Micro- and mesoplastics in Northeast Levantine coast of Turkey: The preliminary results from surface samples, Marine Pollution Bulletin, 118(1), 341–347.

Gündoğdu, S., 2018. Contamination of table salts from Turkey with microplastics, Food Additives & Contaminants:Part A, 35(5), 1006-1014.

Gürbüz, Ö., 2017. Marmara Denizi Mikroplastik Karakterizasyonu ve Dağılımı, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Gürkan, Y., Yüksek, A., 2016. Current biodiversity of soft-bottom macrozoobenthos of the Golden Horn, The Sea of Marmara Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance, Turkish Marine Research Foundation, 42, 581-585.

Güven, K.C., Çoban, B., 2016. Oil and detergent pollution in the Sea of Marmara, The Sea of Marmara Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance, Turkish Marine Research Foundation, 42, 737-750.

Güven, O., Gökdağ, K., Jovanovi, B., Kıdeyş, A.E., 2017. Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish*, Environmental Pollution, 223, 286-294.

Hale, R.C., 2018. Are the risks from microplastics truly trivial?, Environ. Sci. Technol., 52, 931–931.

Harvey, F.and Watts, J., 2018, 22 Ekim. Microplastics found in human stools for the first time, The Guardian, https://www.theguardian.com/environment/2018/oct/22/microplastics-found-in-human-stools-for-the-first-time , (ET: 29.10.2018).

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., Thiel, M., 2012. Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for ıdentification and quantification, Environmental Science and Technology, 46, 3060−3075.

Hsu, P., Matthäi, A., Heise, S., Ahlf, W., 2007. Seasonal variation of sediment toxicity in the Rivers Dommel and Elbe, Environmental Pollution, 148, 817-823.

In-depth Report, 2011. Plastic Waste: Ecological and Human Health Impacts, Science for Environment Policy, DG Environment News Alert Service of European Commission, 44 p.

Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J., Shi, H., 2017. Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China, Environmental Pollution, 221, 141-149.

Jovanovic, B., 2017. Ingestion of microplastics by fish and ıts potential consequences from a physical perspective, Integrated Environmental Assessment and Management, 13(3), 510-515.

Kalaycı, G. 2017. İstanbul Haliç Sediment Örneklerinde Metal ve Radyoaktivite Konsantrasyonları ile Sedimantasyon Hızının Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

Karakaş, K. 2011. Haliç Islah Projesi Çalışma Sonuçlarının İstatiksel Değerlendirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kılıç, M., 2010. Katkılı PVC ve PET Atıklarının Seçimli Olarak Ayrılmasına Yönelik Kolon Flotasyonu Parametrelerinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kılıç, M. ve Yüce, E.A., 2014. PVC ve PET atıkların seçimli flotasyonu Bölüm 1: Plastikler; çevresel etkileri; geri dönüşümü, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(2),79-93.

Lares, M., Ncibi, M.C., Sillanpää, M., Sillanpää, M., 2018. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology, Water Research, 133, 236-246.

Li, H.X., Ma, L.S., Lin, L., Ni, Z.X., Xu, X.R., Shi, H.H., Rittschof, D., 2018. Microplastics in oysters *saccostrea cucullata* along the Pearl River Estuary, China, Environmental Pollution, 236, 619-625.

Lima, A.R.A., Costa, M.F., Barletta, M., 2015. Seasonal distribution and interactions between plankton and microplastics in a tropical estuary, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 165, 213-225.

Liu, L., Tang, Z., Kong, M., Chen, X., Zhou C., Huang, K., Wang, Z., 2019. Tracing the potential pollution sources of the coastal water in Hong Kong with statistical models combining APCS-MLR, Journal of Environmental Management, 245, 143-150.

MARLISCO, 2014. Deniz Çöpünün Azaltılması için MARLISCO Rehberi: İlham Al ve En İyi Uygulamalar Sayesinde Yenilikçi Ol, Avrupa Denizleri'ndeki Deniz Çöpleri: Sosyal Farkındalık ve Ortak Sorumluluk Projesi, Isotech, 36 s.

Martins, J., Sobral, P., 2011. Plastic marine debris on the Portuguese coastline: A matter of size?, Marine Pollution Bulletin, 62, 2649–2653.

Matsuguma, Y., Takada, H., Kumata, H., Kanke, H., Sakurai, S., Suzuki, T., Maki, I., Okazaki, Y., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Weerts, S., Newman, B., 2017. Microplastics in sediment cores from Asia and Africa as indicators of temporal trends in plastic pollution, Arch. Environ. Contam. Toxicol, 73, 230-239.

Moncheva, S., Stefanova, K.., Krastev, A., Apostolov, A., Bat, L., Sezgin, M., Sahin, F., Timofte, F., 2016. Marine litter quantification in the Black Sea: A Pilot Assessment, Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 16, 213-218.

Munari, C., Infantini, V., Scoponi, M., Rastelli, E., Corinaldesi, C., Mistri, M., 2017. Microplastics in the sediments of Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica), Marine Pollution Bulletin, 122, 161–165.

Nour, H.E., El-Sorogy, A.S., El-Wahab, M.A., Nouh, E.S., Mohamaden, M., Al-Kahtany, K., 2019. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals pollution from the Shalateen coastal sediments, Red Sea, Egypt. Marine Pollution Bulletin, 144, 167-172.

Özsoy, E., Altıok, H., 2016. A Review of Hydrography of The Turkish Straits System, The Sea of Marmara Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance, Turkish Marine Research Foundation, 42, 13-41.

PAGEV (Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı), 2017. Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu, 37 s.

PAGEV (Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı), 2016. Dünya Plastik Sektör Raporu, 21 s.

Pegado, T.d.S.e.S., Schmid, K., O.W., Kirk, Chelazzi, D., Cincinelli, A., Dei, L., Giarrizzo, T. 2018. First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary, Marine Pollution Bulletin, 133, 814‑821.

Peng, G., Zhu, B., Yang, D., Su, L., Shi, H., Li, D., 2017. Microplastics in sediments of the Changjiang Estuary, China* Environmental Pollution, 225, 283-290.

PlasticsEurope, Plastics -The Facts 2017, 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data, PlasticsEurope: Association of Plastics Manufactures , 44 p.

Polimer Malzemeler Akrilonitril Stiren Akrilat(ASA), Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, <http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/70488/48698/akrilonitril-stiren-akrilat-asa.pdf > , (ET: 21.05.2018).

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

Rodrigues, M.O., Abrantes, N., Gonçalves, F.J.M., Nogueira, H., Marques, J.C., Gonçalves, A.M.M., 2018. Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antuã River, Portugal), Science of the Total Environment, 633, 1549–1559.

Sagawa, N., Kawaai, K., Hinata, H., 2018. Abundance and size of microplastics in a coastal sea: Comparison among bottom sediment, beach sediment, and surface water, Marine Pollution Bulletin, 133, 532–542.

Samsunlu, A., 1995. Deniz Kirliliği ve Kontrolü, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü, 1555, 192 s.

Seas at Risk, 2017. Single-Use Plastics and The Marine Environment: Leverage Points For Reducing Single-Use Plastics Report, 16 p.

Sevencan, F. ve Vaizoğlu, S.A., 2007. Pet ve geri dönüşümü, TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni, 6 (4), 307-312.

Singh, P. ve Sharma, V.P., 2016. Integrated plastic waste management: Environmental and improved health approaches, Procedia Environmental Sciences, 35, 692-700.

Sirel, A., Çerkezoğlu, M., 2016. sustainability route of reusing of the ındustrial buildings in the field of cultural heritage: Discussion of Golden Horn Region in Istanbul, A+Arch Design International Journal of Architecture and Design, 2 (3), 1-16.

Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, M., Han, G.M., Rani, M., Lee J., Shim, W.J., 2015. A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples, Marine Pollution Bulletin, 93, 202–209.

Steer, M., Cole, M., Thompson, R.C., Lindeque, P.K., 2017. Microplastic ingestion in fish larvae in the western English Channel*, Environmental Pollution, 226, 250-259.

Sur, H.I., Okus, E.,, Sarıkaya, H.Z., Altıok, H., Eroglu, V., Öztürk, I., 2002. Rehabilitation and water quality monitoring in the Golden Horn, Water Science and Technology, 46, 8, 29-36.

Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., Setälä, O., 2017. Solutions to microplastic pollution - Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies, Water Research, 123, 401-407.

Tas, S., Yılmaz, I.N., 2015. Potentially harmful microalgae and algal blooms in a eutrophic estuary in the Sea of Marmara (Turkey), Mediterranean Marine Science, 16(2), 432-443.

Taşdemir, Y., 2002. Marmara Denizi: Kirleticiler ve Çevre Açısından Alınabilecek Tedbirler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7(1), 39-45.

Tetu, S.G., Sarker, I., Schrameyer, V., Pickford, R., Elbourne, L.D., Moore, L.R., Paulsen, I.T., 2019. Plastic leachates impair growth and oxygen production in Prochlorococcus, the ocean's most abundant photosynthetic bacteria, Communications Biology, 2(1), 184.

Thomas, K., Nerland, I.L., Halsband, C. ve Allan, I., 2014. Microplastics in marine environments: Occurrence, distribution and effects report, Norwegian Institute for Water Research, Akvaplan Niva, 6754-2014, 73 s.

Tsang, Y.Y., Mak, C.W., Liebicha, C., Lamb, S.W., Sze, E. T-P., Chan K.M., 2017. Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong, Marine Pollution Bulletin, 115, 20–28.

TÜDAV (Türk Deniz Araştırmaları Vakfı), 2017. 2017 Yılı Türkiye Denizleri Raporu, 45 s.

Türetken Çiftçi, P.S., Cardak, M., Zeki, S., 2016. Bacterıologıcal Studıes of The Sea of Marmara, The Sea of Marmara Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance, Turkish Marine Research Foundation, 42, 307-325.

UNEP, 2016. Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change, United Nations Environment Programme, Nairobi, 274 p.

Valavanidis, A., Vlachogianni, T., 2012. Marine Litter: Man-made Solid Waste Pollution in the Mediterranean Sea and Coastline. Abundance, Composition and Source Identification, Science Advances on Environmental Chemistry, Toxicology and Ecotoxicology, 18 p.

Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbens J., Janssen, C.R., 2015. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects, Marine Environmental Research 111, 5-17.

Vatansever, A., 2015. Poli(Bütil Akrilat-Metil Metakrilat) Nanokompozitlerin Film Özelliklerinin İncelenmesi Ve Boya Bağlayıcısı Olarak Kullanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

Veiga, J.M., Fleet, D., Kinsey, S., Nilsson, P., Vlachogianni, T., Werner, S., Galgani, F., Thompson, R.C., Dagevos, J., Gago, J., Sobral, P. and Cronin, R., 2016. Identifying Sources of Marine Litter, MSFD GES TG Marine Litter Thematic Report, JRC Technical Report, EUR 28309, 41 p.

Vendel, A.L., Bessa, F., Alves, V.E.N., Amorim, A.L.A., Patrício, J., Palma, A.R.T., 2017. Widespread microplastic ingestion by fish assemblages in tropical estuaries subjected to anthropogenic pressures, Marine Pollution Bulletin, 117, 448–455.

Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., Da Ros, L., 2013. Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 130, 54-61.

Vişne, A., Bat, L., 2015. Deniz çöplerinin değerlendirilmesi üzerine deniz stratejisi çerçeve direktifi ve Karadeniz'deki mevcut durum, Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research, 1(3), 104-115.

Willis, K.A., Eriksen, R., Wilcox, C., Hardesty, B.D., 2017. Microplastic distribution at different sediment depths in an urban estuary, Frontiers in Marine Science, 4(419), 1-8.

WWF (World Wildlife Fund), 2018. Plastik Kapanından Çıkış: Akdeniz'i Plastik Kirliliğinden Kurtarmak Raporu, Dünya Doğayı Koruma Vakfı (WWF), 32 s.

Yurtsever, M., 2015. Mikroplastiklere genel bir bakış, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 17(50), 68-83.

Yüksek, A., Beken Polat, Ç., 2016. The Accumulation of Marine Litter on The Seabed of The Sea of Marmara, The Sea of Marmara Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance, Turkish Marine Research Foundation, 42, 793-797.

Yüksel, Y., Ağaççıoğlu, H., Coşar, A., Çelikoğlu, Y., Gürer, S., 1999. Haliç Islah Projesinde Kağıthane ve Alibeyköy Derelerinin Etkisinin İncelenmesi, 2. Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 239-252.

Zhang, B., Wu, D., Yang, X., Teng, J., Liu, Y., Zhang, C., Wang, Q., 2019. Microplastic pollution in the surface sediments collected from Sishili Bay, North Yellow Sea, China, Marine Pollution Bulletin, 141, 9-15.

Zhao, S., Zhu, L., Li, D., 2015. Microplastic in three urban estuaries, China, Environmental Pollution, 206, 597-604.

Ziajahromi, S., Neale, P.A., Leusch, F.D.L., 2016. Wastewater treatment plant effluent as a source of microplastics: Review of the fate, chemical interactions and potential risks to aquatic organisms, Water Science & Technology, 1-17.

Zobkov, M., Esiukova, E., 2017. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results, Marine Pollution Bulletin, 114, 724–732.

EKLER

EK 1. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik renklerinin istasyonlara göre dağılımı

		Siyah	Sarı	Şeffaf	Krem	Gri	Kırmızı	Mavi	Beyaz	Renkli	Pembe	Yeşil	Turuncu	Lacivert
İlkbahar	Sünnet Köprüsü	7	1	5			3	11			2		1	
	Haliç Adaları			2				4			1			
	Haliç Köprüsü			2	1		2	8			4	1		
	Camialtı			2			2	3						
	Kasımpaşa		2	3			2	3			2			
	Atatürk Köprüsü			5			1	5			2	1		
	Galata Köprüsü		1	5			1	5		1		1		
	Toplam	7	4	24	1	0	11	39	0	1	11	3	1	0
Yaz	Sünnet Köprüsü		1	3		3		4			1	1		
	Haliç Adaları		2	1				1			1	1		3
	Haliç Köprüsü	2	4	5				3						
	Camialtı		1	3		1	1	4						
	Kasımpaşa		2	5				1			1			
	Atatürk Köprüsü		1	2	1		2	7			2			
	Galata Köprüsü		1	3	1		1	2	1					
	Toplam	2	12	22	2	4	4	22	1	0	5	2	0	3

EK 1. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik renklerinin istasyonlara göre dağılımı (devamı)

		Siyah	Sarı	Şeffaf	Krem	Gri	Kırmızı	Mavi	Beyaz	Renkli	Pembe	Yeşil	Turuncu	Lacivert
Sonbahar	Sünnet Köprüsü		1	3			2	5			1			
	Haliç Adaları	1							1		1			
	Haliç Köprüsü	1		2				3			1			
	Camialtı		1	5		1	2	1						
	Kasımpaşa			11	1		1	5			4		1	1
	Atatürk Köprüsü			4				3			2			2
	Galata Köprüsü			2			1	2	1			1		
	Toplam	2	2	27	1	1	6	19	2	0	9	1	1	3
Kış	Sünnet Köprüsü	3		6	1		3	11			7		1	12
	Haliç Adaları			1				3						
	Haliç Köprüsü			1		1	1	1					1	1
	Camialtı	1	1	6				2		1		2		3
	Kasımpaşa			10	1			2			1			
	Atatürk Köprüsü	1		11				2						5
	Galata Köprüsü	1		5				1						
	Toplam	6	1	40	2	1	4	22	0	1	8	2	2	21

* Plastik miktarı “adet/g” olarak ifade edilmektedir.

EK 2. 1 µm-1 mm aralığındaki mikroplastik tiplerinin istasyonlara göre dağılımı

		Film	Plastik Parçası	Lif
İlkbahar	Sünnet Köprüsü	2	4	24
	Haliç Adaları			7
	Haliç Köprüsü	1		17
	Camialtı	2		5
	Kasımpaşa	4	2	6
	Atatürk Köprüsü	2	2	10
	Galata Köprüsü	5	2	7
	Toplam	16	10	76
Sonbahar	Sünnet Köprüsü	3	1	8
	Haliç Adaları		2	1
	Haliç Köprüsü	1	1	5
	Camialtı	3	1	6
	Kasımpaşa	8	3	13
	Atatürk Köprüsü	2	1	8
	Galata Köprüsü	2	1	4
	Toplam	19	10	45
Yaz	Sünnet Köprüsü	6	1	6
	Haliç Adaları	2	1	6
	Haliç Köprüsü	2	1	11
	Camialtı	2	3	5
	Kasımpaşa	5	2	2
	Atatürk Köprüsü	2	2	11
	Galata Köprüsü	4	2	3
	Toplam	23	12	44
Kış	Sünnet Köprüsü	3	1	40
	Haliç Adaları			4
	Haliç Köprüsü	2		4
	Camialtı	2	3	11
	Kasımpaşa	8	1	5
	Atatürk Köprüsü	7	5	7
	Galata Köprüsü	3	2	2
	Toplam	25	12	73

* Plastik miktarı “adet/g” olarak ifade edilmektedir.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Pelin DOĞRUYOL
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	25.09.1991
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0537 488 02 33
E-Posta Adresi	pelin_dogruyol@hotmail.com
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	18.06.2014

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler
Dogruyol, P., Sener, M., Balkaya N. 2018. Microplastics in Sediments of the Golden Horn Estuary (Halic), Istanbul, Turkey, Abstract Book of the 4rd International Conference on Recycling and Reuse October 24-26, 2018 - Istanbul / TÜRKİYE, 290-291. Sener, M., Dogruyol, P., Balkaya N. 2018. Microplastic Pollution in the Blacksea Coast of Istanbul, Turkey, Turkey, Abstract Book of the 4rd International Conference on Recycling and Reuse October 24-26, 2018 - Istanbul / TÜRKİYE, 293.