

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE
MİKROPLASTİKLERİN AKİBETİ VE TAŞINIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ezgi BAKKALOĞLU

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

EYLÜL 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE
MİKROPLASTİKLERİN AKİBETİ VE TAŞINIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ezgi BAKKALOĞLU
(171082101)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AYGÜN
Eş Danışman: Doç. Dr. Yunus KAYA**

EYLÜL 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 171082101 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ezgi BAKKALOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE MİKROPLASTİKLERİN AKİBETİ VE TAŞINIMI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AYGÜN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Doç. Dr. Yunus KAYA**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Orhan Taner CAN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gökhan Ekrem ÜSTÜN
Uludağ Üniversitesi

Savunma Tarihi : 16 Eylül 2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi/...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencini Adı Soyadı: Ezgi BAKKALOĞLU

İmzası:

X X X X



Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışma, atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik kirliliğinin önemini ortaya koymak ve bundan sonraki çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla yapılmıştır.

Çalışma sürecinde her türlü bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım ve beni en güzel şekilde yönlendiren saygıdeğer danışmanlarım; Dr. Öğr. Üyesi Ahmet AYGÜN'e ve Doç. Dr. Yunus KAYA'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın yürütülmesi amacıyla Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisinin numunelerini kullanmamıza olanak sağlayan BUSKİ'ye ve numune alma sırasında yardımını esirgemeyen Kuzu Grup çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan Arş. Gör. Hüseyin DEMİRCAN'a, Arş. Gör. Berna NİŞ'e ve Arş. Gör. Ayşegül Çiğdem ADIGÜZEL'e teşekkür ederim.

Tez yazma sürecinde, başım her sıkıştığında, yardımına koşan canım kardeşim Aybüke BAKKALOĞLU'na ve sevgili arkadaşım Jeoloji Yüksek Mühendisi Zeynep KARACA'ya teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, en kıymetlilerim, canım aileme teşekkür ederim.

Eylül 2019

Ezgi BAKKALOĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	vii
SEMBOLLER	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
2. MİKROPLASTİKLER	3
2.1 Mikroplastiklerin Sınıflandırılması	3
2.1.1 Boyut sınıflandırması	3
2.1.2 Şekil ve renk sınıflandırması.....	4
2.1.3 Tür sınıflandırması	5
2.2 Mikroplastiklerin Kirletici Kaynakları	7
2.2.1 Birincil kaynaklar	7
2.2.2 İkincil kaynaklar	7
2.3 Mikroplastiklerin Çevresel Etkileri	9
2.4 Mikroplastiklerin İnsan Sağlığına Etkisi.....	10
2.5 Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikroplastikler	11
2.5.1 Atıksu arıtma tesislerinde kütle dengesi	13
2.5.2 Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin giderim verimi	13
3. MATERYAL VE METOT	16
3.1 Numune Alma Yeri ve Zamanı	16
3.2 Kullanılan Kimyasallar ve Hazırlanışı	18
3.3 Deney Düzenegi ve Deneyin Yapılışı	18
3.3.1 Atıksu numuneleri	19
3.3.2 Çamur numuneleri.....	19
3.3.3 Mikroskop analizi	19
3.3.4 ATR-FTIR analizi	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1 Mikroplastiklerin Renkleri ve Şekilleri.....	23
4.2 Mikroplastiklerin Boyutları.....	28
4.3 Mikroplastiklerin Tür Sınıflandırması	29
4.4 Mikroplastik Giderim Verimi ve Çamurda Birikimi.....	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	36
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ.....	43

KISALTMALAR

ATR	: Attenuated total reflectance
AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
IR	: Kızılötesi
MP	: Mikroplastik
PA	: Poliamid
PAA	: Poliakrilikasit
PC	: Polikarbonat
PES	: Polyester
PET	: Polietilentetralat
PEVA	: Etilenvinilasetat kopolimer
PMMA	: Polimetilmetakrilat
PP	: Polipropilen
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen

SEMBOLLER

μm	: Mikrometre
cm^3	: Santimetre küp
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: Demir sülfat
g	: Gram
H_2O_2	: Hidrojen peroksit
H_2SO_4	: Sülfürik asit
kg	: Kilogram
L	: Litre
m^3	: Metre küp
mL	: Mililitre
mm	: Milimetre
mp	: Mikroplastik
NaCl	: Sodyum klorür
NaI	: Sodyum iyodür
ZnCl	: Çinko klorür

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Boyutlarına göre plastikler	3
Çizelge 2.2 : Plastikler ve özellikleri	6
Çizelge 2.3 : Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik arıtım verimleri.	14
Çizelge 3.1 : Örnekleme zamanı ve hava koşulları.	16
Çizelge 4.1 : Mikroplastiklerin şekilleri ve renkleri	24
Çizelge 4.2 : Mikroplastiklerin şekilleri ve renkleri ortalama değerler	25
Çizelge 4.3 : Mikroplastiklerin boyutları.....	28
Çizelge 4.4 : Mikroplastiklerin türleri	31

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Atık su arıtma tesisi örneklerinde karşılaşılan mikroplastik parçacıkların örnekleri	5
Şekil 2.2 : Parçalanma sonrası mikroplastiklerin özellik değişimleri.....	8
Şekil 2.3 : İnsan vücudundaki mikroplastiklerin ve kimyasal kirleticilerin biyolojik birikiminden ve biyolojik olarak ayrılmasından kaynaklanan potansiyel sağlık etkileri	10
Şekil 2.4 : Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin tespiti için uygulanan işlemlerin akış şeması	12
Şekil 2.5 : Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin kütle dengesi	13
Şekil 3.1 : Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi akış şeması.....	17
Şekil 3.2 : Deneyde uygulanan işlem basamakları.....	18
Şekil 3.3 : Giriş suyu mikroskop görüntüsü.....	20
Şekil 3.4 : Kum tutucu çıkış suyu mikroskop görüntüsü.....	20
Şekil 3.5 : Çıkış suyu mikroskop görüntüsü.....	21
Şekil 3.6 : Geri devir çamuru mikroskop görüntüsü.....	21
Şekil 3.7 : FTIR analizi için alt örnek.	22
Şekil 4.1 : Giriş suyu renk ve şekil sınıflandırması.....	26
Şekil 4.2 : Kum tutucu çıkışı renk ve şekil sınıflandırması.....	26
Şekil 4.3 : Çıkış suyu renk ve şekil sınıflandırması.....	27
Şekil 4.4 : Geri devir çamuru renk ve şekil sınıflandırması.....	27
Şekil 4.5 : Mikroplastiklerin boyut sınıflandırması.....	29
Şekil 4.6 : PE	29
Şekil 4.7 : PEVA	30
Şekil 4.8 : PES	30
Şekil 4.9 : PMMA.....	30
Şekil 4.10 : Giriş suyu mikroplastik türleri.	32
Şekil 4.11 : Kum tutucu çıkış suyu mikroplastik türleri.....	32
Şekil 4.12 : Geri devir çamuru mikroplastik türleri.....	33
Şekil 4.13 : Mikroplastik giderim verimi.	34

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE MİKROPLASTİKLERİN AKİBETİ VE TAŞINIMI

ÖZET

Mikroplastikler boyutu 5 mm'den küçük plastik parçacıklardır. Bu çalışmada mikroplastiklerin arıtma tesisindeki akıbetinin belirlenebilmesi için Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisinde belirlenen noktalarda (giriş, kum tutucu çıkışı, çıkış suyu ve geri devir çamuru) 4 farklı zamanda örnekler alınarak analiz edilmiştir. Ön işlemler sonrası ilk olarak şekil, renk ve boyut sınıflandırması yapılmış, daha sonra FTIR analizleri ile tür tayini yapılmıştır. Bu şekilde mikroplastikler 4 farklı sınıfta kategorize edilmiştir. Mikroplastikler şekil olarak parça+film, lif, küre olmak üzere 3 kategoriye ayrılmıştır. Benzer tonlar birlikte sayılmak üzere renkler; siyah-lacivert, mavi, kırmızı-turuncu-pembe, yeşil, mor, kahverengirengi-krem-sarı ve beyaz-gri şeklinde 7 kategoriye ayrılmıştır. Mikroplastikler boyut olarak (0.3 mm - 0.5 mm, 0.5 mm - 1 mm ve 1 mm - 5 mm) 3 kategoriye ayrılmıştır. Tür sınıflandırmasında ise PMMA, PE, PEVA, PES, PET, PA, PP, PAA olmak üzere 8 kategoriye ayrılmıştır. Giriş suyunda baskın olan plastikler parça+film (% 60) dir. Baskın renk siyah-lacivert (% 40) olup mikroplastiklerin boyut aralığı 0.3 mm – 0.5 mm (% 94.1) dir. Baskın polimer tür ise PE (% 28.27) dir. Kum tutucu çıkış suyunda baskın olan plastikler parça+film (% 55) dir. Baskın renk siyah-lacivert (% 43) olup mikroplastiklerin boyut aralığı 0.3 mm – 0.5 mm (% 93.09) dir. Baskın polimer tür ise PEVA (% 23.68) dir. Çıkış suyunda baskın olan plastikler parça+film (% 61) dir. Baskın renk siyah-lacivert (% 44) olup mikroplastiklerin boyut aralığı 0.3 mm – 0.5 mm (% 94.1) dir. Çıkış suyunda parçacık boyutu çok küçük olduğu için FTIR analizi yapılamamıştır. Geri devir çamurunda baskın olan plastikler parça+film (% 54) dir. Baskın renk siyah-lacivert (% 46) olup mikroplastiklerin boyut aralığı 0.3 mm – 0.5 mm (% 89.53) dir. Baskın polimer tür ise PES (% 28.89) dir. Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi mikroplastik giderim verimi yaklaşık % 93 olarak hesaplanmıştır. Atıksudaki organik maddeler çürütme sırasında giderilmektedir ancak plastik gibi maddeler biyolojik olarak parçalanamamaktadır. Bu nedenle mikroplastiklerin çoğu çamur ile uzaklaşmaktadır. Mikroplastiklerin neden olduğu kirlilik son derece önemlidir bu yüzden kirlilik oluşmadan engellenmelidir. Bu doğrultuda alınabilecek başlıca önlemler: Atıksu arıtma tesislerinin mikroplastik giderim verimleri artırılmalıdır. Kozmetik ürünlerinde kullanılan mikroboncukların kullanımı yasaklanmalı, tekstil ürünleri geliştirilmeli, içeriğinde plastik olmayan ürünlerin satışı desteklenmelidir. Çamaşır makineleri tahliyelerinde filtreler kullanılmalıdır. İyileştirilmiş atık yönetimi oluşturulmalı ve atık yönetim planlarının uygulanması denetlenmelidir.

Anahtar kelimeler: Atıksu arıtma tesisi, mikroplastik, sınıflandırma, FTIR

TRANSPORT AND FATE OF MICROPLASTIC PARTICLES IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS

SUMMARY

Microplastics are less than 5 mm in size. In this study, in order to determine the fate of microplastics in the treatment plant, it was determined as a result of the analyzes carried out on samples taken at 4 different times at the points determined in Bursa East Wastewater Treatment Plant (inlet, sand trap outlet, outlet water and return activated sludge). After the preliminary procedures, firstly the shape, color and size classification were made and then the species were determined by FTIR analysis. In this way, microplastics are categorized into 4 different classes. Microplastics are divided into 3 categories as fragment+film, fiber and spherical. Similar shades of colors to be counted together; black-dark blue, blue, red-orange-pink, green, purple, brown-cream-yellow and white-gray. Microplastics were divided into 3 categories in size (0.3 mm - 0.5 mm, 0.5 mm - 1 mm and 1 mm - 5 mm). Species classification is divided into 8 categories as PMMA, PE, PEVA, PES, PET, PA, PP, PAA. The dominant plastic in the inlet water is fragment+film (60 %). The dominant color is black-dark blue (40 %) and the size range of microplastic is 0.3 mm - 0.5 mm (94.1 %). The dominant polymer specie is PE (28.27 %). The dominant plastic in the sand trap outlet effluent is fragment+film (55%). The dominant color is black-dark blue (43 %) and the size range of microplastic is 0.3 mm - 0.5 mm (93.09 %). The dominant polymer specie is PEVA (23.68 %). The dominant plastic in the effluent is fragment+film (61%). The dominant color is black-dark blue (44 %) and the size range of microplastic is 0.3 mm - 0.5 mm (94.1 %). FTIR analysis could not be performed because the particle size in the leaving water was very small. The dominant plastic in the recycle sludge is fragment+film (54 %). The dominant color is black-dark blue (46 %) and the size range of microplastic is 0.3 mm - 0.5 mm (89.53 %). The dominant polymer specie is PES (28.89 %). Bursa East Wastewater Treatment Plant microplastic removal efficiency is approximately 93% . The organic materials in the wastewater are decayed, but they are not biodegradable, such as plastics. Most of these microplastics are removed with mud. Microplastic pollution is extremely important so it must be prevented before contamination occurs. Microplastic removal efficiencies of wastewater producing plants should be increased. The use of microbeads used in cosmetic products should be banned, textile products should be developed and the sale of non-plastic products in its content is supported. Filters should used in washing machine discharges. Improved waste management should be and management of waste management should be supervised. The most important aim is to prevent waste generation and to ensure recycling.

Keywords: Wastewater treatment plant, microplastic, classification, FTIR

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Plastikler ucuz, hafif, temin edilmesi, depolanması, kullanımını ve bakımı kolay olan ürünler olup birçok sektörde kullanılan malzemelerdir. Günümüzde plastik kullanımı her geçen gün artmakta olup çevre için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Plastik parçaların; güneş ışığına maruz kalma, ısıl yaşlanma, biyofilm büyümesi ve oksidasyon gibi plastik polimerlerin bozulmasına neden olacak şekilde çeşitli durumlara maruz kalması sonucu daha küçük parçalara ayrılarak veya kozmetik ürünlerinde kullanılmak üzere küçük parçalar şeklinde üretilen plastikler mikroplastik olarak adlandırılmaktadır. Mikroplastiklerin boyutu 5 mm'den küçük olup farklı renk, şekil ve türde olabilmektedir.

Mikroplastiklerin yoğunlukları az olduğu için kolayca farklı ortamlara taşınabilmekte ve kalıcı organik kirleticilerin taşıyıcısı olabilmektedir. Su ekosistemindeki canlılar mikroplastikleri besin olarak algılamakta ve bu şekilde trofik seviyelerde insana kadar ulaşabilmektedir. Mikroplastikler toksik etkiye de sahip olabilmektedir. Çevresel etkileri göz önüne alındığında mikroplastiklerin çevre için önemi kolayca anlaşılmaktadır. Son zamanlarda gündemde olan mikroplastik kirliliği için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar nehir, göl, deniz okyanus gibi alıcı ortamlarda yapılan çalışmaların yanı sıra atıksu arıtma tesisleri ve sızıntı sularında da yapılmıştır.

Atıksu arıtma tesislerinde yapılan çalışmalarda birincil ve ikincil arıtım uygulayan tesislerin giderim verimlerinin yüksek olduğu, üçüncül arıtımın pek katkısı olmadığı gözlemlenmiştir. Mikroplastik giderim verimi yüksek olmasına rağmen alıcı ortama ulaşan mikroplastik miktarı ciddi boyuttadır ve alıcı ortama ulaşan mikroplastiklerin toplanması ve giderimi oldukça zordur. Bu nedenle atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin akıbeti belirlenmelidir.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışma kapsamında Bursa Doğu Atıksu Arıtma tesisinin; giriş, kum tutucu ve çıkış suları ile geri devir çamurundan farklı zamanlarda numuneler alınmıştır. Bu numunelerde bulunan mikroplastik miktarı belirlenerek tesisin giderim verimi ve çamurda mikroplastik birikim oranının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Mikroplastikler her bir ünite için renk, tür, şekil ve boyut olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma sonucu her bir ünite için baskın mikroplastığın rengi, türü, şekli, boyutu belirlenerek üniteler arasında değişimler gözlemlenmiştir. Atıksu arıtma tesisinde mikroplastiklerin akıbetinin ortaya konulması hedeflenmiştir.

Çalışmanın kapsamında genel mikroplastik bilgisi verilerek hem alıcı ortamlar hem atıksu arıtma tesisleri için literatür özeti oluşturulmuştur. Mikroplastiklerin tespit edilmesinde standartlaştırılmış bir metot yoktur. Bu nedenle makalelerdeki uygulanan işlemler ve elde edilen sonuçlar incelenerek en etkili metot oluşturulmuş ve çalışmalar bu doğrultuda yürütülmüştür.

2. MİKROPLASTİKLER

Mikroplastiklerin boyutu çalışmalar arasında farklılık göstermektedir ancak genel olarak 5 mm'den küçük plastik parçacıklar mikroplastik olarak tanımlanmaktadır (Conley ve diğ., 2019). Mikroplastikler büyük plastik parçaların zamanla bozunması ile oluşabileceği gibi özel olarak üretilmektedir. Mikroplastik terimi ilk olarak 1968'de yayınlanan bir yayında ortaya çıkmıştır (Crawford ve Quinn, 2017). 1972'de Sargasso Denizi'nin yüzeyinde çok miktarda küçük plastiklerin varlığından söz edilmiştir (Carpenter ve Smith, 1972). Mikroplastiklerin kirletici olarak anılması son zamanlarda gündemde olan konulardandır ve okyanus, deniz, akarsu, göl ve atıksu arıtma tesisleri üzerinde çalışmalar yapılmaya devam etmektedir.

2.1 Mikroplastiklerin Sınıflandırılması

Mikroplastikler şekil, boyut, renk ve plastik türüne göre sınıflandırılabilir.

2.1.1 Boyut sınıflandırması

Plastikler boyutlarına göre 5'e ayrılmaktadır (Çizelge 2.1). Mikroplastikler de kendi içerisinde çeşitli boyutlarda sınıflandırılmıştır. Song ve diğ. (2015); yapmış oldukları çalışmada mikroplastikleri 6 farklı boyut aralığında sınıflara ayırmıştır: < 50, 50-100, 100-200, 200-500, 500-1000 ve > 1000 μm . Mason ve diğ. (2016); ise mikroplastikleri 2 sınıfa ayırmıştır: 125-355 μm , > 355 μm .

Çizelge 2.1 : Boyutlarına göre plastikler (Crawford ve Quinn, 2017).

Kategori	Boyut
Makroplastik	≥ 25 mm
Mezoplastik	25 mm – 5 mm
Mikroplastik	5 mm – 1 mm
Mini Mikroplastik	1 mm – 1 μm
Nanoplastik	< 1 μm

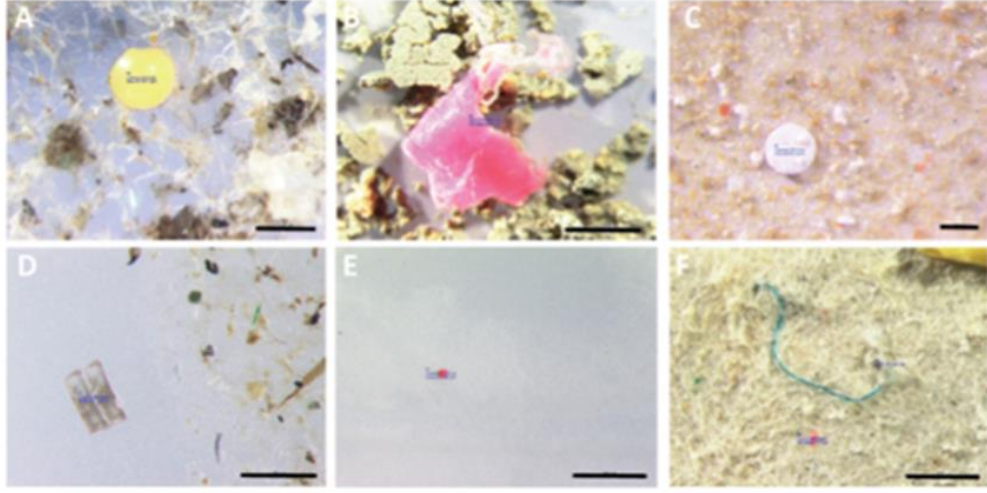
2.1.2 Şekil ve renk sınıflandırması

Mikroplastik parçacıklar, makro boyuttaki parçacıkların bozulması sonucu oluşmaktadır bu nedenle şekil olarak belirli bir şekilleri ve renkleri yoktur. Ancak genel olarak küresel, film, oval, lif ve düzensiz şeklinde olabilmektedir. Plastik içerikli kumaşların parçaları lif şeklinde olmakla birlikte kişisel bakım ürünleri için üretilen mikroplastikler genellikle küre şeklindedir.

Her renkte mikroplastik varlığından söz edilebilmektedir ancak renk deniz organizmaları tarafından önemli bir faktördür çünkü özel renkler avlarının rengine benzeyebilmektedir ve deniz canlıları bunları yutmaktadır bu nedenle bazı renklerin miktarı olması gerekenden daha az olabilmektedir.

Geoje Adası'nın yakınlarından alınan kum ve su örnekleri şekil bakımından; parça, lif, tabaka, genişletilmiş polistren şeklinde sınıflandırmıştır (Song ve diğ., 2015). 17 farklı atıksu arıtma tesisinden alınan numuneler şekil olarak 5 sınıfta kategorize edilmiştir: lif, parça, film, köpük, topak (Mason ve diğ., 2016). Karaman Atıksu Arıtma Tesisi'nin; giriş, havalandırma, kum tutucu ve çıkış suyundan alınan numunelerde baskın tür lacivert, mavi ve siyah renkli lifler olmuştur (Ceylan, 2017). Blumenröder ve diğ. (2017); yapmış oldukları çalışmada mikroplastik liflerin renklerine göre miktarsal sınıflandırılması; mavi > siyah > mor = beyaz > kırmızı > kahverengirengi > yeşil şeklindeyken parçacıklar içinse; mavi > kırmızı > sarı > kırmızı > siyah > turuncu > beyaz > mor > kahverengirengi = gümüş şeklinde olup lif şeklindeki mikroplastik miktarı parçacık şeklindeki mikroplastiklerden daha fazladır. Deniz ve plaj örneklerinde yapılan çalışmada plastiklerin % 87 'sinin düzensiz parçacıklardan oluştuğunu keşfetmiştir. PE parçacıkların % 59.3'ünü PP parçacıkların ise % 60.2'sini düzensiz parçacıklar oluştururken PS parçacıkların % 68.2 'sini köpük şekli oluşturmaktadır (Edo ve diğ., 2019). Aliabad ve diğ. (2019); yapmış olduğu çalışmada mikroplastikleri beyaz, mavi, kırmızı, şeffaf ve diğer renkler olarak sınıflandırma yapmıştır.

Abayomi ve diğ. (2017); yapmış oldukları deniz suyu çalışmasında baskın örnek tipi mavi liflerdir bunu takip eden renkler sırasıyla; siyah, kırmızı, yeşil, gri, şeffaf renkler olmuştur. Gies ve diğ. (2018); 17 atıksu ve 12 çamur numunesi üzerinde çalışma yapmış ve parçacıkları şekil olarak; lif (% 65.6), parça (% 28.1), topak (% 5.4), granül, tabaka ve köpük olmak üzere 6 sınıfa ayırmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Atık su arıtma tesisi örneklerinde karşılaşılan mikroplastik parçacıkların örnekleri (Gies ve diğ., 2018).

2.1.3 Tür sınıflandırması

Plastikler; düşük maliyetli, nem tutma özelliği ve hafif olması nedeniyle çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. En çok kullanılan plastik malzemeler ve özellikleri (Çizelge 2.2) de yer almaktadır.

Blumenröder ve diğ. (2017); yapmış oldukları çalışmada mikroplastiklerin % 45'i politetraflorideetilen, % 15'i polietilen yada polivinilidin, % 10'u poliamid, % 8'i polyester, % 3'ü poliakrilonitrat yada polidimetilslikson olduğunu tespit etmiştir.

Ziajahromi ve diğ. (2017); yapmış oldukları çalışmada birincil, ikincil ve üçüncül proseslerini kullanan atıksu arıtma tesislerinin atıksu bazlı mikroplastik miktarını belirlemişlerdir. En çok rastlanan tür polietilentetraftalat lifleri ve düzensiz şekilli polietilen partikülleridir.

Wang ve diğ. (2018); Dongting gölü ve Hong gölünde yapmış oldukları çalışmada en çok polietilen ve polipropilen olsada polistren ve polivinilklorür olduğunu tespit etmiştir.

Atıksu arıtma tesisi ve alıcı gölden alınan numunelere FTIR analizi yapılmıştır ve bunun sonucunda; % 79.1 polyester ve polietilentetraftalat, % 11.4 polietilen, % 3.7 poliamid ve önemsiz miktarda polipropilen tespit edilmiştir (Lares ve diğ., 2018).

Aliabad ve diğ. (2019); Chabahar körfezinde yapmış olduğu çalışmada baskın türü PE ve PP olarak tespit etmiştir.

Çizelge 2.2 : Plastikler ve özellikleri (Özek, 2016; Andrady, 2011; Url 1).

Plastik Tür	Yoğunluk (g/cm ³)	Özellik
Polipropilen (PP)	0.83-0.85	Kimyasal maddelere ve ısıya karşı dayanıklıdır, orta sertliğe ve parlaklığa sahiptir
Yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE)	0.94	Düşük maliyetli, kolay şekillenebilir, kırılmaya dayanıklıdır
Düşük yoğunluklu polietilen (AYPE)	0.91-0.93	Esnek, yumuşak, buruşmaz, kolay kesilebilir
Poliamid / Naylon (PA)	1.14	Nem ve ses alma özelliği, mekanik dayanımı iyidir, aşınma dayanımı, ve darbe mukavemeti, kolay işlenebilirlik, iyi yapışma özelliği
Polikarbonat (PC)	1.20	İşlenmesi, kalıplanması, ısıl olarak şekillendirilmesi kolaydır
Polietilen Tetraftalat (PET)	1.37	Tamamen geri dönüşebilir, çok hafiftir, serttir ve darbeye karşı dayanıklıdır
Polivinilklorür (PVC)	1.38	Sert ve esnek olarak iki tür PVC malzemesi vardır
Polyester (PES)	1.36-1.45	Aşınma mukavemeti iyidir, nem çekme özelliği azdır

Kuzey İtalya'nın en büyük atıksu arıtma tesislerinin birinde; birincil, ikincil, üçüncül arıtım uygulanmaktadır. Bu tesis 1 200 000 kişilik nüfusa hizmet etmekte olup tesisin debisi 400 000 m³/gün'dür. Bu tesisten alıcı ortama ulaşan mikroplastik miktarı 160 000 000 mp/gün olup baskın tür polyester ve poliamid olmuştur (Magni ve diğ., 2019).

Ham atıksuda ve arıtılmış suda yapılan plastik tür sınıflandırmasında; ham atıksu için baskın türler akrilat, polyester ve polietilen polipropilen kopolimeridir. Arıtılmış sudaki baskın türler ise polietilen, polyester ve polietilen polipropilen kopolimeridir (Simon ve diğ., 2018).

2.2 Mikroplastiklerin Kirletici Kaynakları

Mikroplastiklerin kirletici kaynakları 2'ye ayrılır; birincil kaynaklar, ikincil kaynaklar.

2.2.1 Birincil kaynaklar

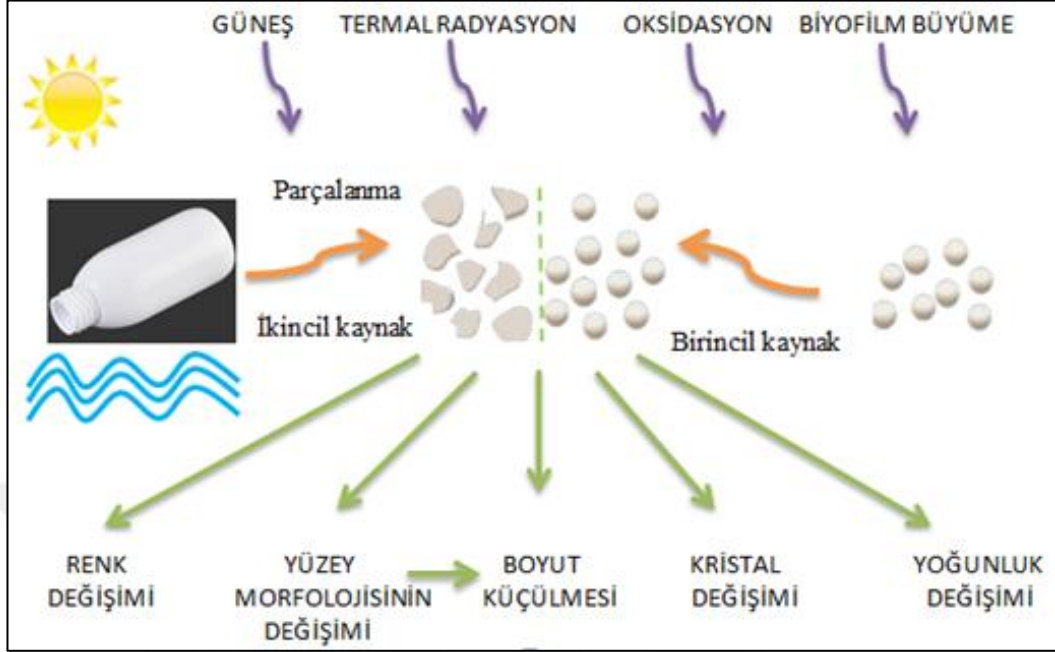
Birincil kaynaklar; kişisel bakım, kozmetik ve temizlik ürünleri için üretilen mikro boyuttaki parçacıkları ifade etmektedir. Yüz temizleyicilerin içindeki doğal peeling malzemelerinin yerine özel olarak mikroplastikler üretilmektedir (Fendall ve Sewell, 2009). Yüz temizleyiciler; polietilen, polipropilen, polistren içeren mikroskobik boyutta imal edilmiş plastiklerden üretilmektedir (Zitko ve Hanlon, 1991).

Carr ve diğ. (2016); yapmış oldukları çalışmada tanımlanan mikroplastiklerin çoğunun diş macunu formükülasyonlarında bulunan mavi polietilen parçacıklarına benzer bir profile sahip (renk, şekil, boyut) olduklarını göstermiştir. Yüz fırçaları gibi kozmetik ürünler, deniz ortamı için potansiyel olarak önemli birincil mikroplastik kaynakları olarak tanımlanmıştır. Napper ve diğ. (2015); kozmetik ürünü olan 6 farklı yüz fırçası üzerinde çalışma yapmıştır ve hepsinde polietilen parçacık gözlemlenmiştir.

2.2.2 İkincil kaynaklar

İkincil kaynaklar; deniz ve kıyı ortamlarındaki makroskobik plastikler ve mikroplastikler, güneş ışığına maruz kalma, ısıl yaşlanma, biyofilm büyümesi ve oksidasyon gibi plastik polimerlerin bozulmasına neden olacak şekilde çeşitli durumlara maruz kalmaktadır. Farklı yıpranma işlemlerine göre, çoğu zaman foto parçalanma, termal bozunma, biyobozunma ve oksidasyon bozunması olarak sınıflandırılan plastik polimerlerin yıkımlarını kıran bir dizi kimyasal reaksiyon meydana gelmektedir. Bozulma, makroskobik plastik atıkların parçalanmasına ve ikincil mikroplastiklerin ortamlara ulaşmasına yol açmaktadır. Öncelikli ve ikincil mikroplastikler, bozunma temel olarak renk, yüzey morfolojik, kristallik, partikül

büyüküğü ve yoğunluk gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmektedir. (şekil 2.2) (Guo ve Wang, 2019).



şekil 2.2 : Parçalanma sonrası mikroplastiklerin özellik değişimleri (Guo ve Wang, 2019).

Sentetik lifler, doğal liflerin ihtiyacı karşılamaması durumunda kullanılmak üzere üretilmiştir daha sonraları tüketicinin farklı taleplerine yanıt vermek üzere çeşitli özellikleri geliştirilerek üreilmeye başlanmıştır. Sentetik lifler önemli bir mikroplastik kaynağı olmuştur ve çamaşır yıkamaları sonucunda atıksu arıtma tesislerine ulaşmaktadır. Browne ve diğ. (2011); çamaşır makinesinde örnek olarak yapmış oldukları çalışmada tek bir giyside yıkama başına 1900 elyaf üretebileceğini göstermiştir. Kanalizasyonlarda tespit edilen elyafların ise tekstilde kullanılan ürünlere benzediği görülmektedir; % 78 polyester, % 9 poliamid, % 7 polipropilen ve %5 akrilik.

Sentetik liflere etki eden faktörler;

- ✓ Yeni giysiler eski giysilerden daha az lif bırakmaktadır.
- ✓ Deterjan kullanımı lif miktarını arttırmaktadır.
- ✓ Sıcaklık, zaman, su sertliği ve mekanik etkiler lif miktarını etkilemektedir.
- ✓ Kumaşın sıkı örülmüş olması lif miktarını arttırmaktadır (Hu ve diğ., 2019).

2.3 Mikroplastiklerin Çevresel Etkileri

Mikroplastikler yoğunlukları az olduğu için rüzgar ve okyanus akıntıları ile uzun mesafelere kolayca taşınabilmekte ve kalıcı organik kirleticilerin taşıyıcısı olabilmektedir. Su ekosisteminde bulunan canlılar mikroplastikleri besin olarak algılayabilmekte ve bu şekilde en küçük trofik seviyeden insana kadar mikroplastik geçişi sağlanabilmektedir. Mikroplastikler toksik etkiye neden olabilmektedir. Toksikite doğrudan plastik ürünlerin üretiminde kullanılan polimer malzemelerden kaynaklanabileceği gibi plastiklerin özelliğini geliştirmek için plastiğe eklenen katkı maddeleri de toksisiteyi arttırabilmektedir. Mikroplastiklerin küçük boyutları ve keskin uçları iltihaplanmalara neden olabilmektedir (Sun ve diğ., 2019).

İstiridye üzerinde yapılan çalışmada mikro polyesterin üreme bozukluklarına ve yavrular üzerinde etkileri olduğunu göstermiştir (Sussarellu ve diğ., 2016). Mikroplastikler küçük balıklarda bağırsak tıkanmasına neden olabilmektedir (Zitko ve Hanlon, 1991).

Yüz temizleyiciler okyanusta büyük bir mikroplastik kirlilik kaynağı olabilmekte ve deniz ürünleri zincirlerinin tabanında plankton ve filtre besleyici organizmalar üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır (Fendall ve Sewell, 2009).

Mikroplastikler çok küçük olduğu için tüm trofik düzeyler için tehdit oluşturmaktadır. Farrel ve Nelson (2013); yapmış oldukları çalışmada midyeleri polistrene maruz bırakmış daha sonra bu midyeler ile yengeçleri beslemişlerdir. Sonuç olarak midyeden yengece transfer edilen mikroplastik miktarı az olsa da trofik transferin gerçekleştiğini ve yengecin dokularında yer değiştirebildiğini göstermiştir.

Plastiklerin deniz kuşları tarafından yutulması ciddi bir sorundur. Blight ve Burger (1997); yapmış oldukları çalışmada 11 deniz kuşu türünden 8'inin midesinde plastik parçaların bulunduğunu tespit etmiştir. Mallory (2008); Kuzey Kutup bölgesinde fulmerler (kuş türü) üzerinde çalışma yapmıştır. Sonuç olarak kuşların midesinde çoğu beyaz olmak üzere farklı renk ve boyutlarda plastik parçacıklar gözlemlenmiştir.

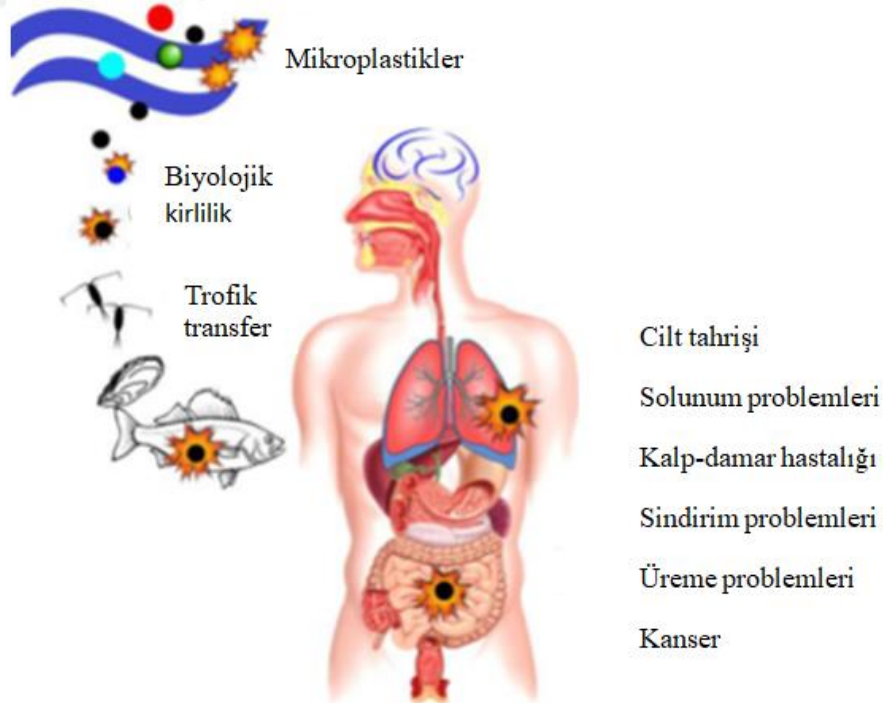
Plastik partiküllerin bazıları, gece beslenen pelajik bir balık olan *E. subaspera* tarafından, bir kısmı da Macquarie Adası yakınındaki foklar tarafından tüketilmiştir. Bu da küçük plastik parçaların okyanusun adaya yakın kısmında besin zincirindeki birikimine bir örnektir (Eriksson ve Burton, 2003).

Browne ve diğ. (2008); mikroplastiklerin canlılar üzerinde etkilerini araştırmak için midyeler üzerinde çalışma yapmıştır. Mikroplastik yutan midyelerin bağırsağında plastik parçaların biriktiği gözlemlenmiştir. Daha sonra mikroplastikler midyenin dolaşım sisteminde gözlemlenmiştir. Mikroplastik miktarı 12. günde maksimum seviyeye ulaşmıştır ve sonrasında azalmaya başlamıştır. Küçük parçacıklar bir organizma dokusunda birikme potansiyeli daha fazladır.

Mikroplastikler absorpsiyon ile ağır metaller, poliklorlu bifeniller, kalıcı organik kirleticiler gibi tehlikeli maddelerin taşıyıcısı olabilmektedir (Bayo ve diğ., 2016). Pürüzlü mikro parçacıklar kalıcı organik kirleticilerin deniz suyundan adsorbe edilmesinde, yüzey alanlarının artmasından dolayı pürüzsüz olanlardan daha etkili olmaktadır (Napper ve diğ., 2015).

2.4 Mikroplastiklerin İnsan Sağlığına Etkisi

İnsanlar deniz ürünlerini tüketerek, içme suyu ve hava ile mikroplastikler maruz kalabilmektedir. Mikroplastikler hücre zarlarını ve insan plasentasını geçebilmekte ve insan sağlığını etkilemektedir (Şekil 2.3) (Vethaak ve Leslie, 2016).



Şekil 2.3 : İnsan vücudundaki mikroplastiklerin ve kimyasal kirleticilerin biyolojik birikiminden ve biyolojik olarak ayrılmasından kaynaklanan potansiyel sağlık etkileri (Carbery ve diğ., 2018).

2.5 Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikroplastikler

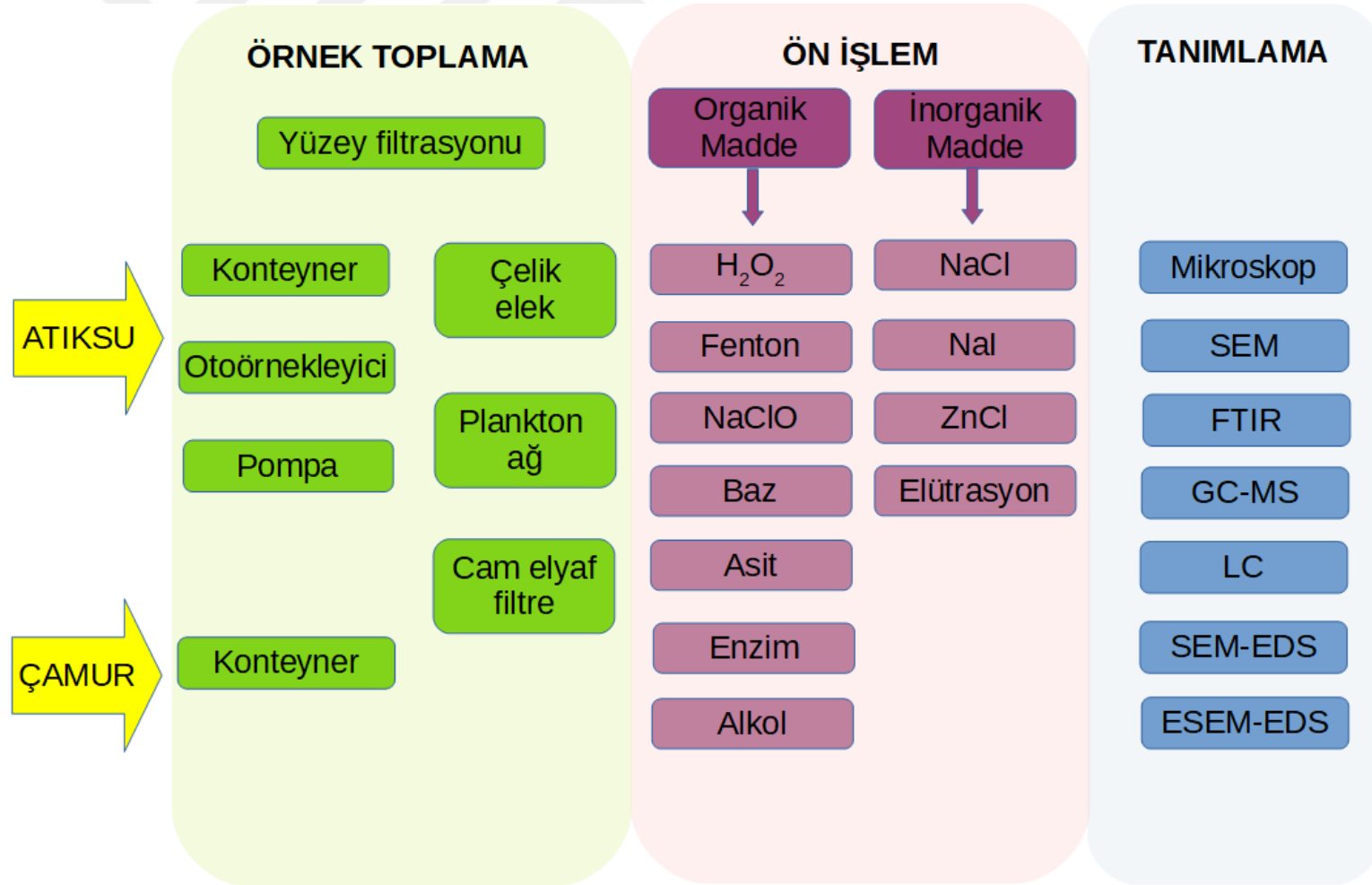
Mikroplastiklerin tespiti için birçok çalışma yapılmıştır ancak yapılan çalışmalarda herhangi bir standart söz konusu değildir. Bu nedenle farklı örnek hacimleri seçilmiş ve numunelere farklı işlem basamakları uygulanmaktadır. Genel olarak ham atıksuyun numune hacmi küçük tercih edilmektedir. Ham atıksu organik madde bakımından yoğundur ve fazla hacimdeki örnekler filtre ve eleklerin tıkanmasına neden olmaktadır (Gatiduo ve diğ., 2019). Yapılan çalışmalarda uygulanan işlem basamaklarının özeti (Şekil 2.4) yer almaktadır.

Prata ve diğ. (2018); yapmış olduğu çalışmada daha önce yapılan çalışmalarda kullanılan yöntemleri düzenlemiştir. Bu doğrultuda çamur numunelerinin %55'inde ıslak ağırlık alınmıştır ve çalışmaların % 65'inde yoğunluk ayırımı için NaCl kullanılmıştır. Tanımlama yöntemi olarak ise % 60 FTIR tercih edilmiştir. Su örneklerindeki çalışmalarda ise % 75'inde yoğunluk ayırımı yapılmamış olup tanımlama yöntemi olarak % 40 FTIR ve % 40 görsel tanımlama tercih edilmiştir.

Yapılan çalışmalarda organik madde gideriminde en çok kullanılan kimyasal H_2O_2 'dir ancak tek başına kullanıldığında çok fazla miktarda harcanmaktadır. Bu nedenle fenton reaktifi ile kullanılmaktadır. Fenton hem zaman açısından verimli hemde büyük örnek hacimlerinde etkilidir. İnorganik madde gideriminde de en çok tercih edilen kimyasal NaCl'dür çünkü ucuz ve toksik etkisi yoktur (Hu ve diğ., 2019). Ancak polyester gibi yüksek yoğunluğa sahip mikroplastikler için yoğunluğu yüksek olan NaI ve ZnCl tuzları tercih edilmektedir.

Mikroplastiklerin tanımlanmasında kullanılan yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları;

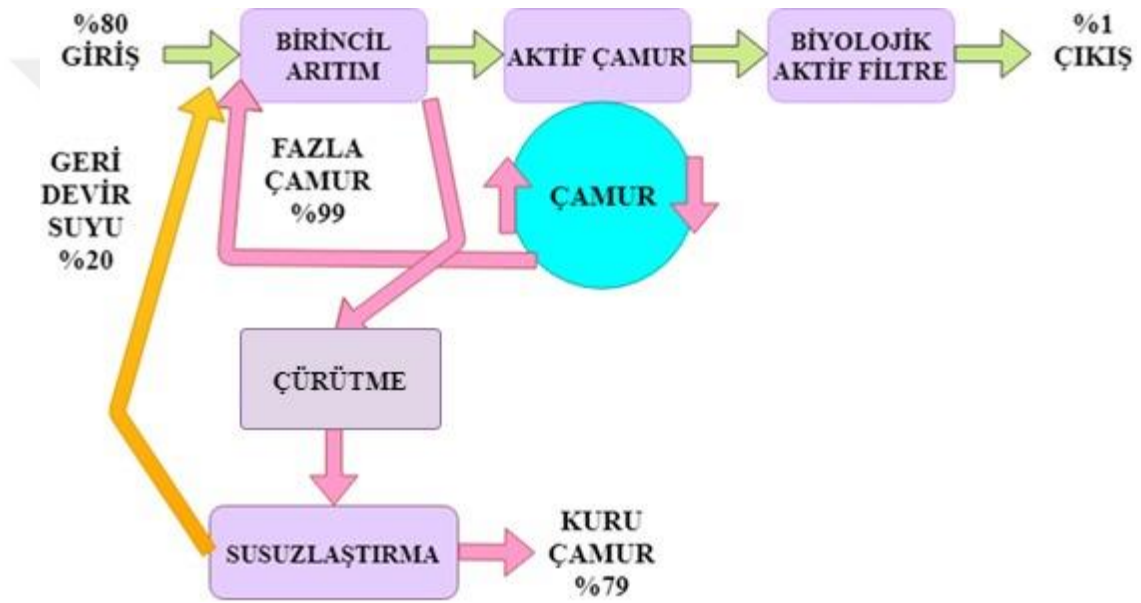
- ✓ Mikroskop; FTIR dan daha kolay ve daha hızlıdır. Ancak mikroskopik analizde boyutu çok küçük olan mikroplastiklerin kaçırılması veya yanlış sayılması daha olasıdır.
- ✓ FTIR da en önemli avantaj mikroplastiklerin türünün tanımlanabilmesidir. Ancak mikroplastiklerin tek tek türünün belirlenmesi oldukça fazla zaman almaktadır (Song ve diğ., 2015).



Şekil 2.4 : Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin tespiti için uygulanan işlemlerin akış şeması (Sun ve diğ., 2019).

2.5.1 Atıksu arıtma tesislerinde kütle dengesi

Mikroplastiklerin çoğu kum ve daha büyük parçalara tutunarak atıksudan uzaklaşmaktadır. Üçüncül arıtım yöntemi olan biyolojik aktif filtre mikroplastik konsantrasyonunu azaltmakta pek etkili değildir. Atıksudaki organik maddeler ayrışma ile giderilmektedir. Plastik gibi maddeler biyolojik olarak parçalanamamaktadır bu nedenle mikroplastiklerin çoğu çamur ile uzaklaşmaktadır. Fazla çamurun susuzlaştırılmasında ortaya çıkan su tekrar arıtmaya aktarılmaktadır. Mikroplastiklerin kütle dengesi (Şekil 2.5) de yer almaktadır (Talvitie ve diğ., 2017b).



Şekil 2.5 : Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin kütle dengesi (Talvitie ve diğ., 2017b).

2.5.2 Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin giderim verimi

Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik varlığını etkileyen faktörler;

- ✓ Tesisin boyutu
- ✓ Havzanın kentleşme derecesi
- ✓ Örnekleme yapıldığı zaman olarak belirtilmiştir (Murphy ve diğ, 2016).

Çamaşır lifleri ve kişisel bakım ürünlerinde yer alan mikroplastikler kanalizasyon ile atıksu arıtma tesislerine ulaşmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde birincil arıtımın % 72-98 oranında mikroplastik giderim verimi varken ikincil arıtımda ise % 7-20 oranında fazladan arıtım verimi olduğu görülmektedir. Üçüncül arıtım ise

mikroplastik gideriminde çok etkili değildir ancak uygulanan teknolojiye bağlı olarak da değişim göstermektedir (Gatiduo ve diğ., 2019).

Talvitie ve diğ. (2017a); ileri arıtım uygulayan dört farklı atıksu arıtma tesisinde mikroplastik giderim verimini incelemiştir. En yüksek verim membran biyoreaktörden (% 99.9) elde edilmiştir. Ardından hızlı kum filtresi (% 97), hava flatasyonu (% 95) ve disk filtre (% 40-98.5) gelmektedir. Mikroplastiklerin arıtım verimleri ile ilgili çalışma özetleri (Çizelge 2.3) de yer almaktadır.

Çizelge 2.3 : Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik arıtım verimleri.

Örnekleme Yeri	Atıksu Arıtma	Arıtım Verimi (%)	Kaynakça
Lysekil, İsveç	Üçüncül arıtma	99.9	Magnusson ve Noren, 2014
Helsinki, Finlandiya	-	95.6	HELCOM, 2014
Paris, Fransa	İkincil arıtma	83-95	Dris ve diğ., 2015
Glasgow, İskoçya	İkincil arıtma	98.4	Murphy ve diğ., 2016
Los Angeles Sanitasyon Bölgesi, ABD	Birincil ve ikincil arıtma	99.9	Carr ve diğ., 2016
Aşağı Saksonya, Almanya	İkincil ve üçüncül arıtma	97	Mintenig ve diğ., 2017
Sidney, Avustralya	Birincil, ikincil ve üçüncül arıtma	90	Ziajahromi ve diğ., 2017
Mikkeli, Finlandiya	Birincil ve ikincil arıtma	98.3	Lares ve diğ., 2018

Carr ve diğ. (2016); 7 tanesinde üçüncül arıtma 1 tanesinde ikincil arıtma gerçekleştirilen 8 atıksu arıtma tesisi üzerinde çalışma yapmıştır. Sonuç olarak mikroplastik parçacıkların birincil arıtma sistemlerinde çamur çökeltme işlemleri yoluyla uzaklaştırıldığını tespit etmiştir. İkincil ve üçüncül tesislerden alıcı ortama ulaşan mikroplastik miktarı minimal düzeyde kalmıştır.

Lares ve diğ. (2018); atıksu arıtma tesislerinden 3 ay boyunca 2 haftada bir numune almışlardır. Atıksu arıtma tesislerine gelen mikroplastiklerin % 98.3'lük bir verimle giderildiğini gözlemlemiştir. Mikroplastiklerin oluşum verilerine göre,

mikroplastik lifler (% 82), mikroplastik parçacıklardan (% 18) daha ciddi bir sorun teşkil etmektedir.

Farklı atıksu arıtma tesisinde mikroplastik giderim verimlerini hesaplamıştır. Tesislerin biri daha büyüktür ve bu tesisin giderim verimi % 97.6 iken diğer iki küçük tesisin arıtım verimleri % 85.2 ve % 85.5 olarak belirlenmiştir. Kaynak modellenmesi yapılarak mikroplastik liflerin çamaşır makinelerinden çıkan mikroplastiklerle ve popülasyona bağlı olduğu tespit edilmiştir (Conley ve diğ., 2019).

Ozon, membran disk filtresi ve hızlı kum filtrasyonu gibi farklı arıtma teknolojisi uygulayan tesislerde mikroplastik giderim verimine bakılmıştır. Sonuçlar gösterdi ki; birincil ve ikincil arıtma işlemleri atıksudaki mikroplastikleri etkin bir şekilde temizlemektedir (% 75 ile % 91.9). Üçüncül arıtma işlemi ise verimi % 98 üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Tüm atık su örneklemesinde bulunan başlıca mikroplastik türleri, mikro boncuklar ve düzensiz parçacıklardır (Hidayaturrahmana ve Lee, 2019).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Numene Alma Yeri ve Zamanı

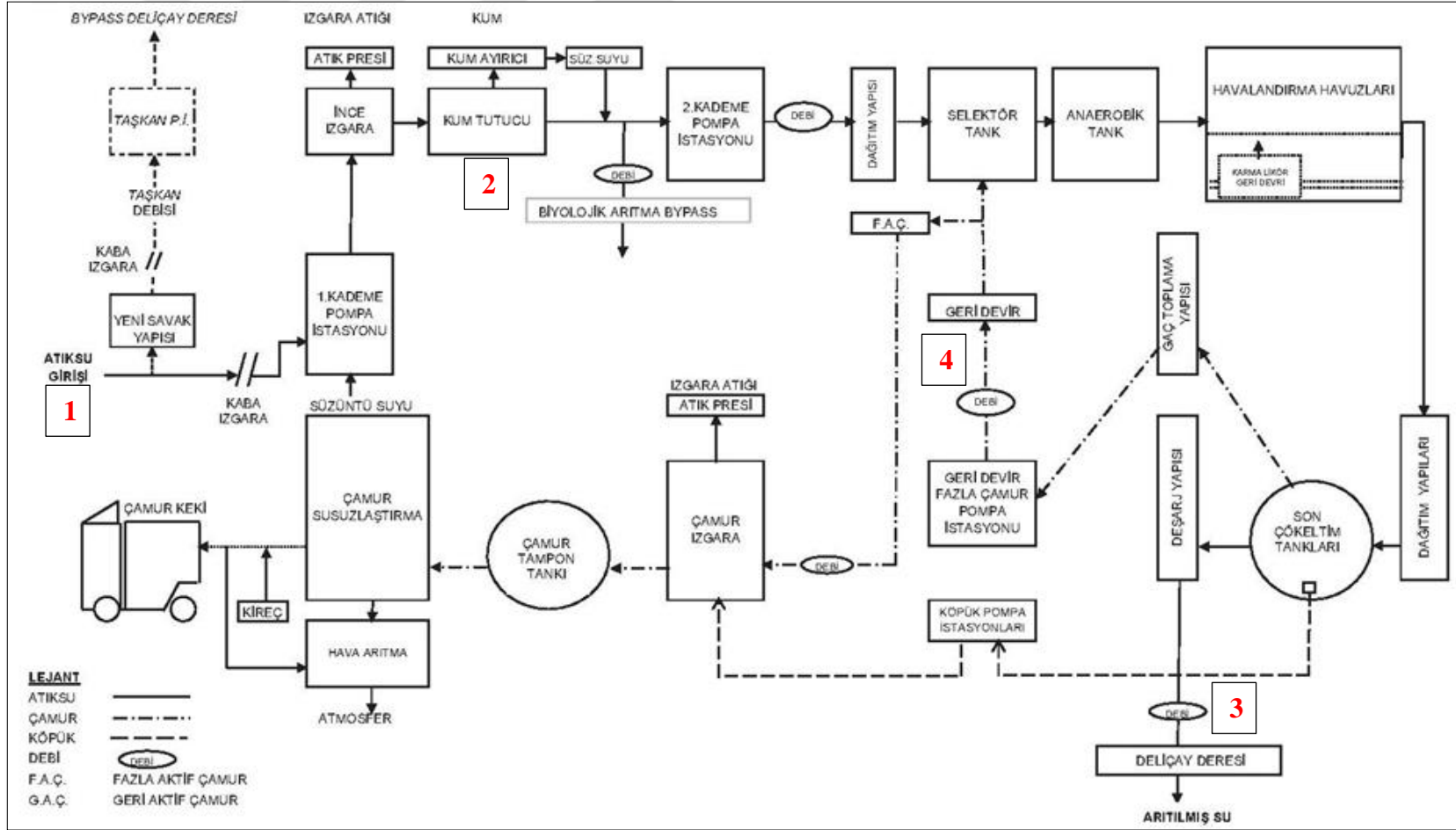
Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin akıbetini incelemek amacıyla Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisinin atıksuyu kullanılmıştır. Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi, kentin doğu havzasındaki evsel atıksuların arıtılması amacıyla Küçük Balıklı mevkiinde, 516.619 m²'lik bir alanda kurulmuş, yaklaşık olarak 1.550.000 eşdeğer nüfusa hitap edecek şekilde, ortalama proje debisi 2017 yılı için 240.000 m³/gün ve 2030 yılı için 320.000 m³/gün evsel atıksuyun arıtılmasına hizmet edecek kapasitede iki aşamalı projelendirilmiştir. İleri biyolojik arıtma proseslerinin uygulandığı tesislerde, azot ve fosfor giderimi de gerçekleştirilmektedir. Tesis Nisan 2006'da tamamlanarak işletmeye alınmıştır. Atıksu arıtma prosesi; ön arıtma, biyolojik arıtma (biyolojik fosfor giderimi, azot giderimi, karbon giderimi, son çöktürme) ve çamur arıtımı aşamalarından oluşmaktadır (Url 2).

Tesisin; giriş (1 olarak işaretlenmiştir), kum tutucu çıkışı (2 olarak işaretlenmiştir), çıkış suyu (3 olarak işaretlenmiştir) ve geri devir çamuru(4 olarak işaretlenmiştir) olmak üzere 4 farklı noktadan anlık numune alınmıştır (Şekil 3.1). Numuneler 4°C de saklanmıştır.

Numuneler 4 farklı zamanda 2'şer örnek olarak alınmıştır. Atıksu numuneleri 1'er litre çamur numuneleri ise 0.5'er litre olarak alınmıştır. Numunelerin alınma zamanındaki bilgiler (Çizelge 3.1) de yer almaktadır.

Çizelge 3.1 : Örnekleme zamanı ve hava koşulları.

Numune No	Tarih	Saat	Sıcaklık (°C)	Hava Durumu
1	15.03.2019	12:00	9	Yağışlı
2	29.04.2019	14:00	29	Güneşli
3	10.05.2019	15:00	19	Parçalı bulutlu
4	17.05.2019	14:00	22	Parçalı bulutlu



Şekil 3.1 : Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi akış şeması.

3.2 Kullanılan Kimyasallar ve Hazırlanışı

Organik madde giderimi için her bir numune için % 35 saflıkta H_2O_2 (40 mL + 20 mL) ve fenton rektifi (20 mL) kullanılmıştır. Fenton rektifi; 7.5 g $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ + 500 mL su + 3 mL H_2SO_4 şeklinde hazırlanmıştır.

İnorganik madde giderimi için her bir çamur numunesinde doymuş NaCl (400 mL) ve NaI (150 mL su içinde 90 g NaI çözünmüştür) kullanılmıştır.

3.3 Deney Düzenegi ve Deneyin Yapılışı

Deneyde uygulanan işlem basamakları (Şekil 3.2) de yer almaktadır. Çamur, katı madde miktarı bakımından yoğundur. Bu nedenle sadece çamur numunelerinde yoğunluk ayırımı yapılmıştır. Diğer işlem basamakları hem atıksu hem çamur numuneleri için ortaktır.



Şekil 3.2 : Deneyde uygulanan işlem basamakları.

3.3.1 Atıksu numuneleri

1 L atıksu numunesi çelik elek setinden geçirilmiştir. Gözenek boyutu 300 µm (No:50) olan elek üzerinde kalan katı kısım saf su ile en az durulama yapılarak behere aktarılmıştır. Beher 90° C de 24 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Kuru numunenin üzerine 20 mL fenton reaktifi ve 40 mL H₂O₂ eklenmiştir ve 5 dk oda sıcaklığında beklenmiştir. Beherin üzeri kapatılarak manyetik karıştırıcıda 75° C de 20 dk karıştırılmıştır. Üzerine 20 mL daha H₂O₂ eklenmiştir ve 75° C de 30 dk karıştırılmıştır. Numune soğuduktan sonra Whatman GF/F 0.7µm cam elyaf filtreden süzölmüştür. Filtre kağıtları alüminyum folya ile sarılarak, kapalı şekilde oda sıcaklığında kurutulmuştur.

3.3.2 Çamur numuneleri

200 g çamur numunesine 400 mL doymuş NaCl eklenerek 2 dk boyunca karıştırılmıştır. 10 dk beklenmiştir ve yoğunluk ayrımı gerçekleşmiştir. Üst faz çelik elek setinden geçirilmiştir. Alt kısımda kalan numunenin üzerine 150 mL NaI çözeltisi eklenerek 2 dk karıştırılmış ve tekrar 10 dk beklenmiştir. Üst faz çelik elek setinden geçirilmiştir. Gözenek boyutu 300 µm (No:50) olan elek üzerinde kalan katı kısım saf su ile en az durulama yapılarak behere aktarılmıştır. Beher 90°C de 24 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Kuru numunenin üzerine 20 mL fenton rektifi ve 40 mL H₂O₂ eklenmiştir ve 5 dk oda sıcaklığında beklenmiştir. Beherin üzeri kapatılarak manyetik karıştırıcıda 75° C de 20 dk karıştırılmıştır. Üzerine 20 mL daha H₂O₂ eklenmiştir ve 75° C de 30 dk karıştırılmıştır . Numune soğuduktan sonra Whatman GF/F 0.7 µm cam elyaf filtreden süzölmüştür. Filtre kağıtları alüminyum folya ile sarılarak, kapalı şekilde oda sıcaklığında kurutulmuştur.

3.3.3 Mikroskop analizi

Filtre kağıtları LEICA EZ4E marka stereo mikroskopta görüntüleri 8x büyöltölerek alınmış ve bilgisayara kaydedilmiştir (Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6). Mikroskop ile filtre kağıdının üzerindeki iki alanda mikroplastik miktarı belirlenerek bu alan tüm filtre kağıdınla oranlanarak veriler düzenlenmiştir. Kaydedilen görseller üzerinden mikroplastikler şekil ve renk olarak sayılmıştır. Mikroplastiklerin boyutları LibreOffice Draw programı üzerinden belirlenmiştir.



Şekil 3.3 : Giriş suyu mikroskop görüntüsü.



Şekil 3.4 : Kum tutucu çıkış suyu mikroskop görüntüsü.



Şekil 3.5 : Çıkış suyu mikroskop görüntüsü.

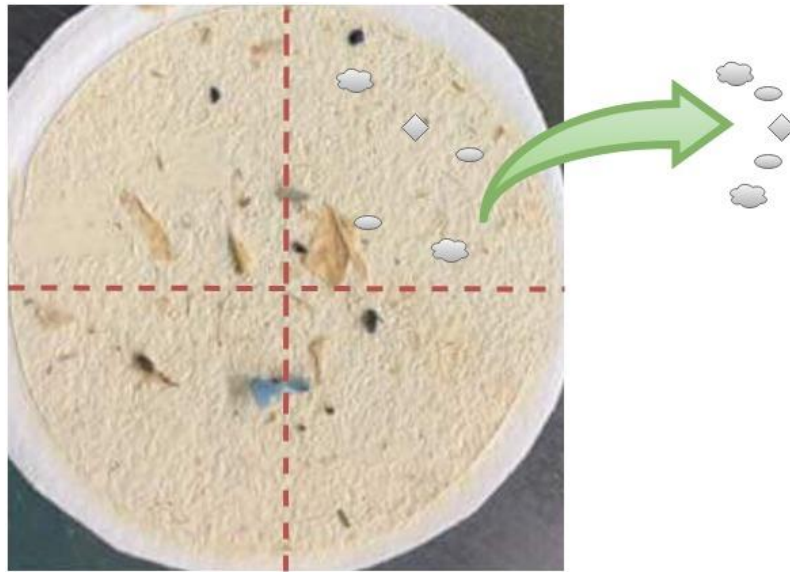


Şekil 3.6 : Geri devir çamuru mikroskop görüntüsü.

3.3.4 ATR-FTIR analizi

Mikroskopta şekil, renk ve boyut olarak analizleri yapılan mikroplastiklerin türlerini belirlemek için ATR-FTIR cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz bir tür titreşim spektroskopisi olup IR ışınları moleküller arasındaki titreşim hareketlerini soğurmaktadır. Her dalga boyunun ayrı ayrı taranmasına gerek kalmadan hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilebilmektedir. Bu cihaz ile moleküler bağ sınıflandırması yapılarak; malzemenin yapısındaki fonksiyonel gruplar, bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu ve yapının aromatik yada alifatik olup olmadığını belirlemektedir. ATR-FTIR ise adsorpsiyon bantlarının dalga boyunda azalma meydana getirerek daha az emekle ve örnek kalınlığından bağımsız olarak soğurganlığı fazla olabilen farklı maddelerin spektrum analizlerine olanak sağlamaktadır. ATR tekniği polimer içerikli maddeler için oldukça etkilidir.

Mevcut tüm parçaları analiz etmek ne mümkün ne de pratiktir. Murphy ve diğ. (2016); yapmış oldukları çalışmada filtre kağıdını 24 eşit parçaya bölerek bu parçaların sadece 4 tanesinide FTIR analizi yapmıştır. Bu çalışmadan yola çıkarak FTIR analizi için alt örnekler oluşturulmuştur. Filtre kağıdı 4 eşit parçaya bölünmüştür ve bu parçalardan biri rastgele seçilmiştir. Seçilen parça üzerinde gözle görünür boyutta olan parçaçıklar rastgele farklı miktarlarda seçilerek FTIR analizi yapılmıştır (Şekil 3.7). FTIR'da sadece plastik türlerin bulunduğu kütüphane seçilmiştir. Analizlerde alt örnekler oluşturulduğu için veriler yüzde olarak verilmiştir.



Şekil 3.7 : FTIR analizi için alt örnek.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Mikroplastiklerin Renkleri ve Şekilleri

Çeşitli renklerde bulunan mikroplastikler benzer tonlar birlikte sayılmak üzere 7 kategoriye ayrılmıştır: siyah-lacivert, mavi, kırmızı-turuncu-pembe, yeşil, mor kahverengirengi-krem-sarı ve beyaz-gri. Şekil olarak 3 kategoriye ayrılmıştır: parçacık+film, lif, küre. Elde edilen veriler (Çizelge 4.1) de yer almaktadır. Bu verilerin ortalaması alınarak (Çizelge 4.2) oluşturulmuştur. Bu tablodaki verilerle grafikler oluşturulmuştur (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4). Baskın renk siyah+lacivert olup bunu kahverengi+krem+sarı takip etmektedir. Şekil olarak düzensiz parçalar fazladır ve bunu küre şeklinde olan mikroplastikler takip etmektedir.

Mason ve diğ. (2016); yapmış oldukları çalışmada mikroplastikleri şekil olarak lif (% 59), parça (% 33), film (% 5), köpük (% 2), topak (% 1) olarak sınıflandırmıştır. Murphy ve diğ. (2016); yapmış oldukları çalışmada ise parça (% 67.3), lif (% 18.5), film (% 9.9), küre (% 3), köpük (% 1.3) olarak sınıflandırmıştır. Liu ve diğ. (2019); yapmış oldukları çalışmada su numunelerinde lif (% 33.5 - % 56.7), parça (% 30.4 - % 45.6) şekline rastlamışlardır. Ancak çamur numunelerinde küre (% 17.1) ve köpük (% 12.9) şekline rastlamışlardır. Çalışmalarda mikroplastikler şekil olarak her ne kadar farklı dağılım göstermiş olsalarda ortak nokta atıksu arıtma tesislerinde baskın şeklinin parça ve lif olduğu gözükmektedir.

Liu ve diğ. (2019); yapmış oldukları çalışmada su numunelerinde baskın renk şeffaf (% 56), kahverengi (% 19.6) ve siyah (% 9.6) olup çamurda ise saydam (% 38.3) ve kahverengi (% 9.1) olduğunu tespit etmiştir. Mikroplastiklerde renk sınıflandırması çalışmalar arasında farklılık göstermekte olup denizde canlıların bazı mikroplastik renkleri yiyecek olarak algılaması okyanus ve atıksu tesislerinde yapılan çalışmalarda renklerde farklılık oluşmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.1 : Mikroplastiklerin şekilleri ve renkleri.

NUMUNE		K			L			K			K		K		L		K		TOPLAM
YERİ	NO	P	L	K	P	L	K	P	L	K	P	L	P	L	P	L	P	L	
	1	708	18	438	42	24	72	1368	66	174	186	18	-	18	6	30	90	6	3264
GİRİŞ	2	492	252	180	252	156	90	522	192	96	348	66	-	18	66	162	30	24	2946
(mp/L)	3	588	177	684	129	54	114	468	174	-	159	42	-	18	159	156	12	42	2976
	4	633	210	591	54	-	9	588	279	159	441	51	-	-	162	177	-	18	3372
KUM	1	396	66	378	66	30	48	1014	30	156	132	12	-	-	24	54	48	6	2460
TUTUCU	2	522	171	348	120	63	42	345	81	75	210	69	30	12	30	186	24	42	2370
(mp/L)	3	420	90	486	66	42	36	327	162	57	183	66	9	24	66	171	9	6	2220
	4	522	87	513	198	18	33	288	126	129	225	51	9	-	63	108	-	6	2376
	1	57	3	18	18	3	45	54	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	201
ÇIKIŞ	2	45	6	66	51	3	54	81	15	-	6	-	-	-	-	-	-	-	327
(mp/L)	3	78	9	39	6	-	6	36	3	-	3	3	-	-	-	-	-	-	183
	4	39	3	21	21	-	-	33	33	3	-	-	-	-	15	3	-	-	171
	1	3030	1080	2700	390	300	720	1950	510	510	1530	330	60	60	330	390	90	30	14010
ÇAMUR	2	3885	1020	2250	1095	135	225	2070	300	495	1095	480	45	60	510	660	75	165	14565
(mp/kg)	3	1920	900	2640	315	105	585	1650	525	-	375	345	135	-	345	825	15	390	11070
	4	1650	1455	1005	1020	135	255	1665	450	120	765	450	30	135	645	915	135	255	11085

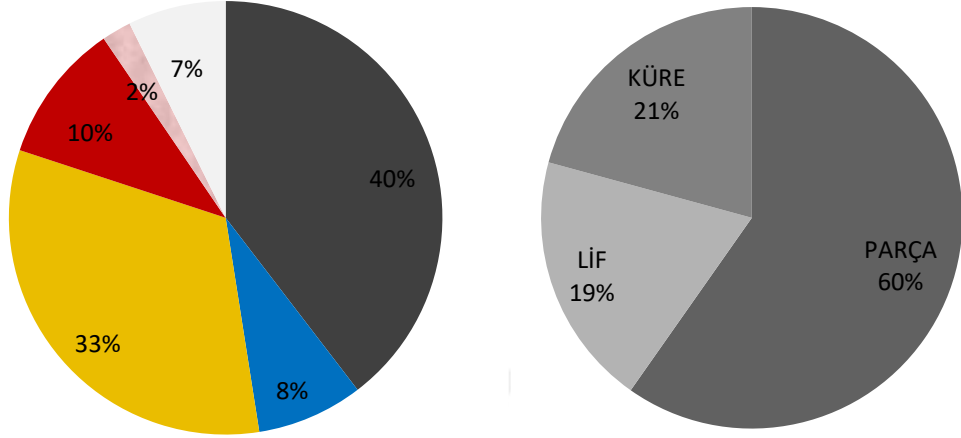
* P: parça+film, L: lif, K: küre

Çizelge 4.2 : Mikroplastiklerin şekilleri ve renkleri ortalama değerler.

NUMUNE YERİ		Siyah		Koyu Mavi			Sarı			Kırmızı		Yeşil		Gri		Mor		TOPLAM	
		P	L	K	P	L	K	P	L	K	P	L	P	L	P	L			
GİRİŞ (mp/L)	En fazla	708	252	684	252	156	114	1368	279	174	441	66	0	18	162	177	90	42	3139.5
	En az	492	18	780	42	0	9	468	66	0	159	18	0	0	6	30	0	6	
	Ortalama	605.25	164.25	473.25	119.25	58.5	71.25	736.5	177.75	107.25	283.5	44.25	0	13.5	98.25	131.25	33	22.5	
KUM T. (mp/L)	En fazla	522	171	513	198	63	48	1014	162	156	225	69	30	24	66	186	48	42	2356.5
	En az	396	66	348	66	18	33	288	30	58	132	12	0	0	24	54	0	6	
	Ortalama	465	103.5	431.25	112.5	38.25	39.75	493.5	99.75	104.25	187.5	49.5	12	9	45.75	129.75	20.25	15	
ÇIKIŞ (mp/L)	En fazla	78	9	66	51	3	54	81	33	3	6	3	0	0	15	3	0	0	220.5
	En az	39	3	18	6	0	0	33	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Ortalama	54.75	5.25	36	24	1.5	26.25	51	13.5	0.75	2.25	0.75	0	0	3.75	0.75	0	0	
ÇAMUR (mp/kg)	En fazla	3885	1455	2700	1095	300	720	1950	525	510	1530	480	135	135	645	915	135	390	12682.5
	En az	1650	900	105	315	105	225	1650	300	0	375	330	30	0	330	390	90	30	
	Ortalama	2621.25	1113.75	2148.75	705	168.75	446.25	1833.75	446.25	281.25	941.25	401.25	67.5	63.75	457.5	697.5	78.75	210	

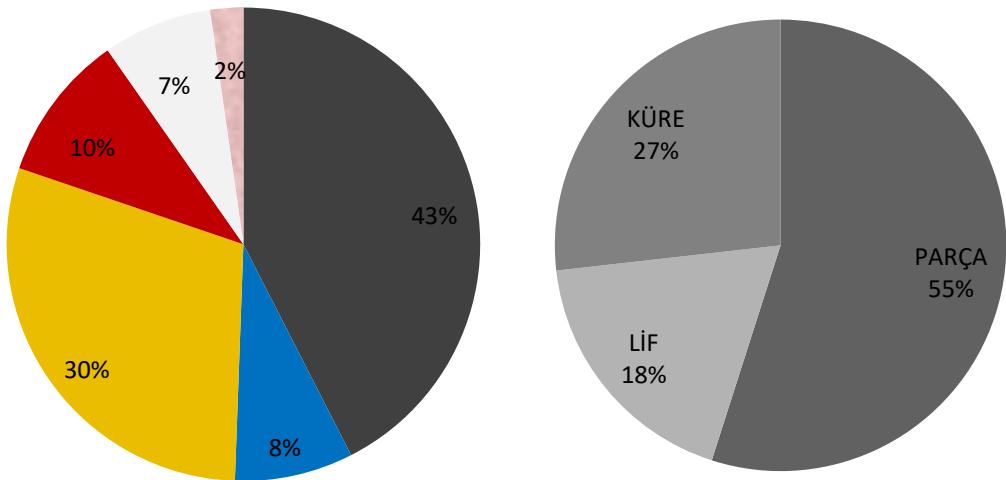
* P: parça+film, L: lif, K: küre

Giriş suyunda mikroplastiklerin renk sırası siyah-lacivert > kahverengi-krem-sarı > kırmızı-pembe-turuncu > mavi > beyaz-gri > mor > yeşil şeklinde olup mikroplastiklerin % 60'ını düzensiz parçacıklar oluşturmaktadır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Giriş suyu renk ve şekil sınıflandırması.

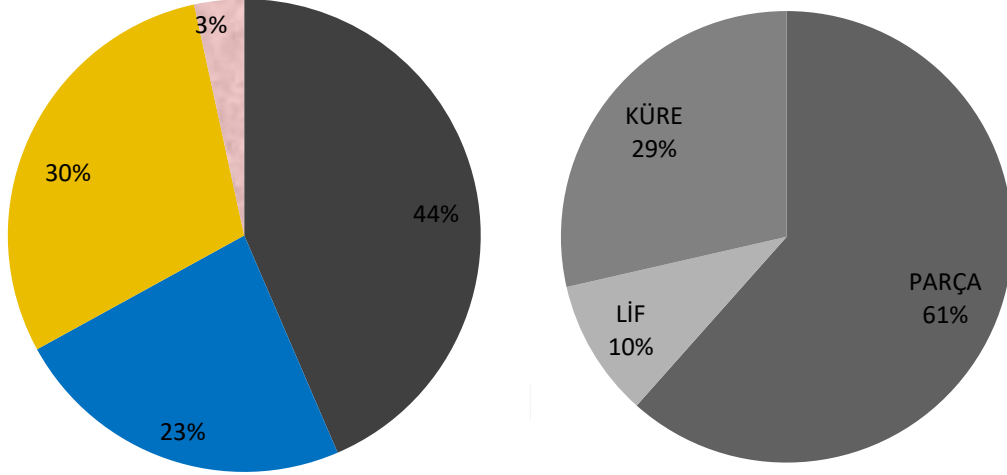
Kum tutucu çıkış suyunda mikroplastiklerin renk sırası siyah-lacivert > kahverengi-krem-sarı > kırmızı-pembe-turuncu > mavi > beyaz-gri > mor = yeşil şeklinde olup mikroplastiklerin % 55'ini düzensiz parçacıklar oluşturmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Kum tutucu çıkışı renk ve şekil sınıflandırması.

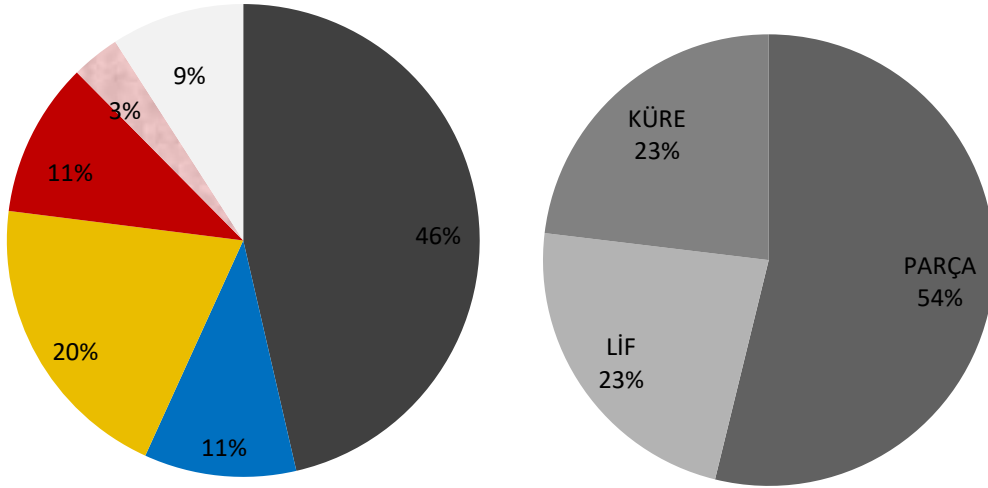
Çıkış suyunda mikroplastiklerin renk sırası siyah-lacivert > kahverengi-krem-sarı > mavi > beyaz-gri > kırmızı-pembe-turuncu şeklinde olup yeşil ve mor renginde

mikroplastik gözlenmemiştir. Mikroplastiklerin % 61'ini düzensiz parçacıklar oluşturmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Çıkış suyu renk ve şekil sınıflandırması.

Geri devir çamurunda mikropplastiklerin renk sırası siyah-lacivert > kahverengi-krem-sarı > kırmızı-pembe-turuncu = mavi > beyaz-gri > mor > yeşil şeklinde olup mikropplastiklerin % 54'ini düzensiz parçacıklar oluşturmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Geri devir çamuru renk ve şekil sınıflandırması.

4.2 Mikroplastiklerin Boyutları

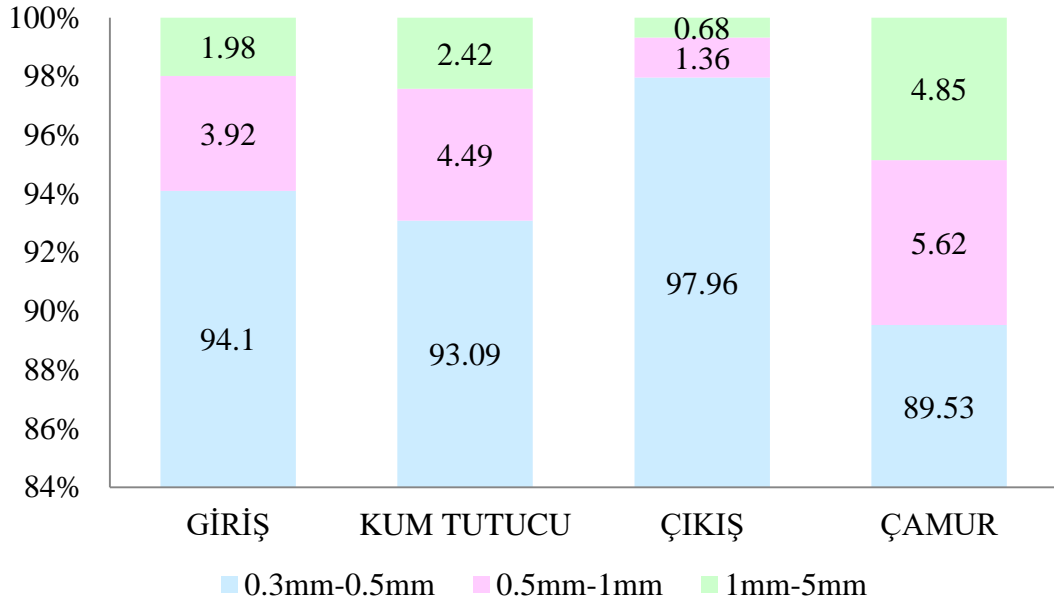
Mikroplastikler boyut olarak 3 kategoriye ayrılmıştır: 0.3 mm - 0.5 mm, 0.5 mm - 1 mm ve 1 mm - 5 mm. Elde edilen veriler (Çizelge 4.3) de yer almaktadır. Ortalama değerler ile grafik çizilmiştir (Şekil 4.5).

Çizelge 4.3 : Mikroplastiklerin boyutları.

NUMUNE YERİ	NUMUNE NO	BOYUT (mm)			TOPLAM
		0.3-0.5	0.5-1	> 1	
GİRİŞ (mp/L)	1	3204	30	30	3264
	2	2658	180	108	2946
	3	2808	132	36	2976
	4	3147	150	75	3372
	Ort.	2954.5	123	57	3139.5
KUM T. (mp/L)	1	2394	60	6	2460
	2	2148	108	114	2370
	3	2031	135	54	2220
	4	2202	120	54	2376
	Ort.	2193.75	105.75	57	2356.5
ÇIKIŞ (mp/L)	1	189	6	6	201
	2	327	0	0	327
	3	183	0	0	183
	4	165	6	0	171
	Ort.	216	3	1.5	220.5
ÇAMUR (mp/kg)	1	13020	540	450	14010
	2	12960	855	750	14565
	3	10050	705	315	11070
	4	9390	750	945	11085
	Ort.	11355	712.5	615	12682.5

Her bir numunede mikroplastiklerin büyük çoğunluğunu 0.3 mm - 0.5 mm aralığında olan parçalar oluşturmaktadır. Bunu sırasıyla 0.5 mm – 1 mm ve 1 mm – 5 mm takip etmektedir (Şekil 4.5). Liu ve diğ. (2019) yapmış olduğu çalışmada mikroplastikleri 0.02 mm – 0.3 mm, 0.3 mm – 1 mm, 1 mm – 2 mm, 2 mm – 3.5 mm ve 3.5 mm – 5 mm olmak üzere 5 sınıfa ayırmıştır. Baskın boyut aralığı 0.02 mm – 0.3 mm olduğu

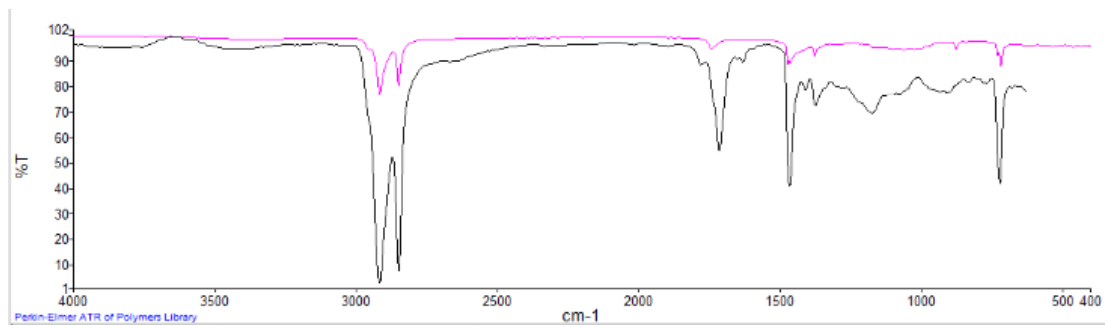
gözlenmiştir. Mikroplastik boyutunun küçük olma nedeni plastiklerin mekanik parçalanması veya büyük parçaların adsorbe ve tortulanma eğilimi olabilmektedir.



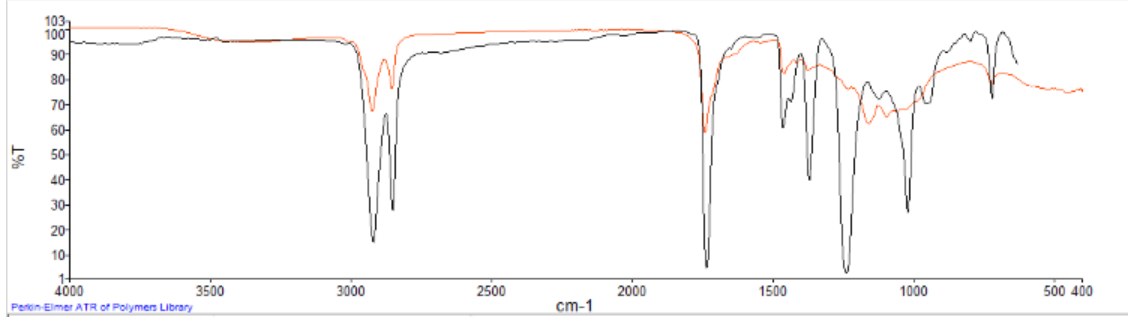
Şekil 4.5 : Mikroplastiklerin boyut sınıflandırması.

4.3 Mikroplastiklerin Tür Sınıflandırması

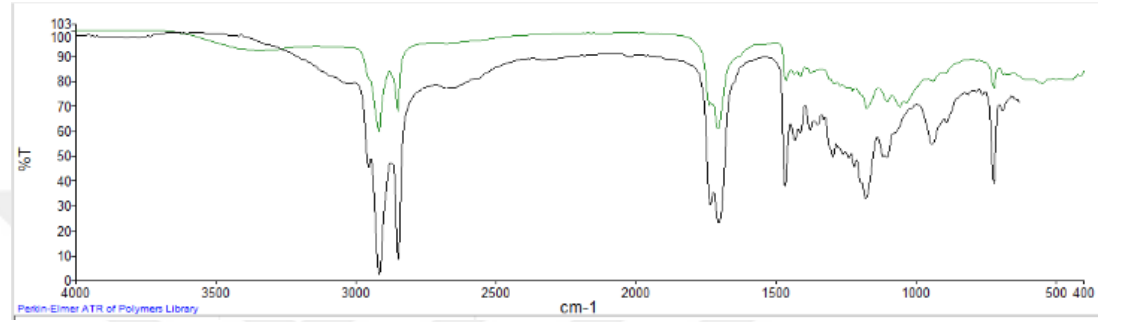
FTIR analizlerinde çok küçük parçalar analiz edilememiştir. Bu nedenle çıkış suyunda FTIR analizi yapılamamıştır. Giriş, kum tutucu çıkış suyu ve geri devir çamurundan alınan numuneler tür bakımından sınıflandırılmıştır. Analiz sonucunda sekiz farklı plastik tür tespit edilmiştir: polietilen (Şekil 4.6), etilenvinilasetat kopolimer (Şekil 4.7), polyester (Şekil 4.8), polimetilmetakrilat (Şekil 4.9), polietilentetralat, poliamid, polipropilen, poliakrilikasit (Tablo 4.4). FTIR’da benzerlik oranları 0.40 üzerinde olan veriler kabul edilmiştir. Çünkü seçilen parça saf polimer değildir. Tüm parçacıklar analiz edilemediği için veriler % dağılımı olarak ve ortalama olarak verilmiştir.



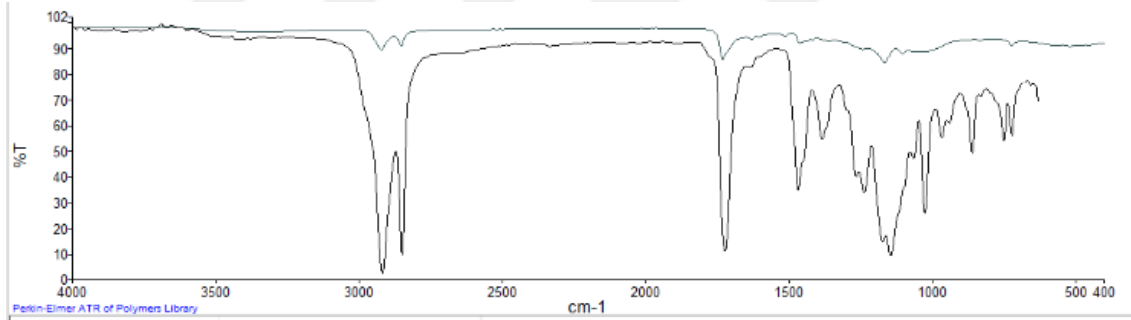
Şekil 4.6 : PE (0.89).



Şekil 4.7 : PEVA (0.56).



Şekil 4.8 : PES (0.88).



Şekil 4.9 : PMMA (0.71).

Yapılan çalışmada elde edilen plastikler; PMMA banyo ve mutfak gereçlerinin yapımında kullanılmaktadır. PES ve PA tekstil endüstrisinde kullanılmaktadır. PAA deterjan polimeri olup PP tekstil, mutak ve banyo gereçlerinin üretiminde kullanılmaktadır. Kozmetik ürünlerinde ise baskın plastik tür PE'dir. Çalışmada elde edilen plastik türler evsel atıksuda beklenen plastikleri oluşturmaktadır ancak halkın tercih ettiği ürünler atıksuda gözlenen mikroplastığın türünü ve oranını etkilemektedir. Liu ve diğ. (2019); yapmış oldukları çalışmada mikroplastiklerin tür sınıflandırmasında baskın türü PA (% 52.5) olduğunu tespit etmiştir. Bu sonuç halkın kişisel bakım ürünlerini kullanma alışkanlığını ve tüketiminin daha az olduğunu göstermiştir.

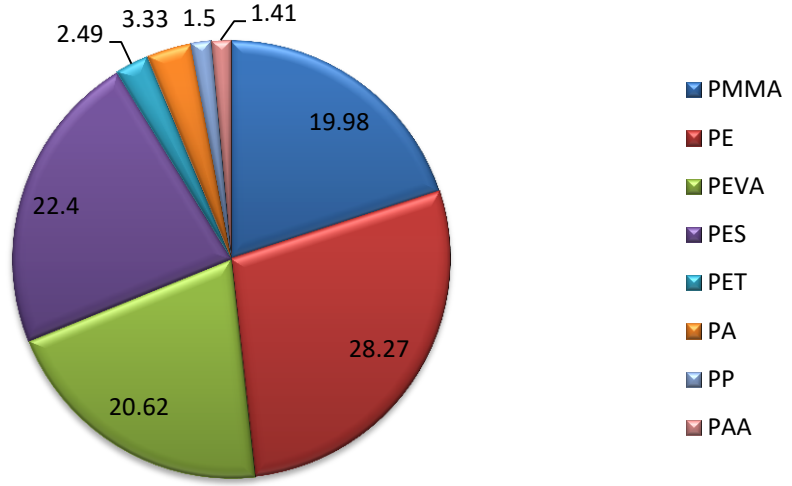
Çizelge 4.4 : Mikroplastiklerin türleri.

NUMUNE		PLASTİK TÜR (%)							
YERİ	NO	PMMA	PE	PEVA	PES	PET	PA	PP	PAA
GİRİŞ	1	22.45	24.49	24.49	20.41	2.04	2.04	-	4.08
	2	18.46	29.23	18.46	27.69	1.54	3.08	-	1.54
	3	16.95	37.29	13.56	22.03	5.08	1.69	3.39	-
	4	22.08	22.08	25.97	19.48	1.30	6.49	2.60	-
	Ort	19.98	28.27	20.62	22.40	2.49	3.33	1.50	1.41
KUM TUTUCU	1	27.78	16.67	22.22	27.78	5.56	-	-	-
	2	15.79	26.32	23.68	21.05	7.89	5.26	-	-
	3	11.11	17.78	17.78	22.22	15.56	15.56	-	-
	4	20.69	20.69	31.03	17.24	6.90	-	3.45	-
	Ort	18.84	20.36	23.68	22.07	8.98	5.20	0.86	-
ÇAMUR	1	17.86	14.29	17.86	35.71	7.14	-	-	7.14
	2	17.02	21.28	23.40	23.40	8.51	4.26	-	2.13
	3	22.86	11.43	28.57	31.43	2.86	-	2.86	-
	4	21.88	21.88	28.13	25.00	3.13	-	-	-
	Ort	19.90	17.22	24.49	28.89	5.41	1.06	0.71	2.32

*PMMA: Polimetilmetakrilat, PE: polietilen, PEVA: etilenvinilasetat kopolimer, PES: polyester, , PET: Polietilentetralat, PA: poliamid,

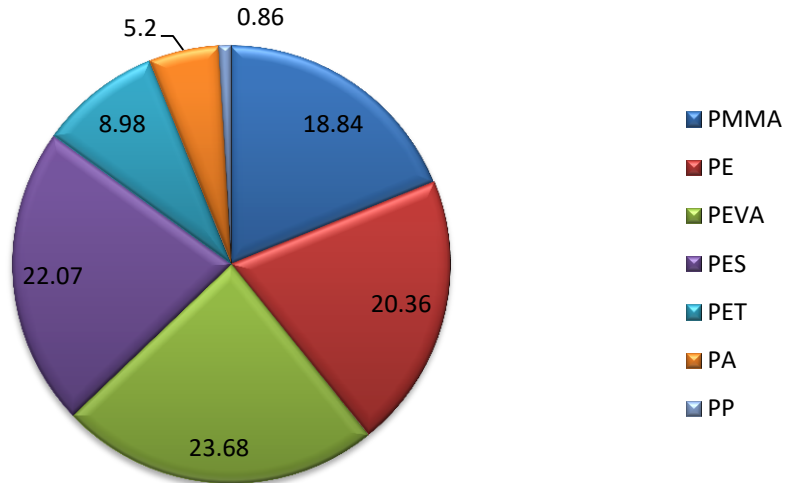
PP: polipropilen, PAA: poliakrilikasit

Giriş suyunda 8 farklı plastik tür tespit edilmiştir. Baskın tür %28.27 polietilen, %22.4 polyester, %20.62 etilenvinilasetat kopolimer, % 19.98 polimetilmetakrilat olup az miktarlarda da polietilentetralat, poliamid, polipropilen, poliakrilikasit tespit edilmiştir (Şekil 4.10).



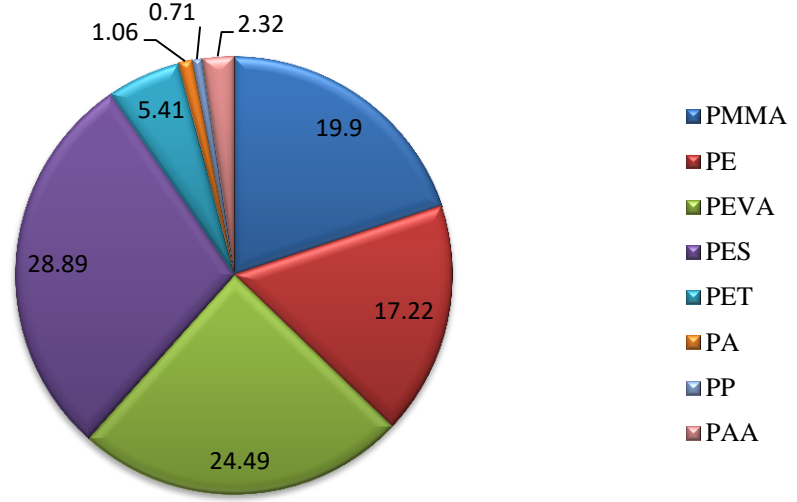
Şekil 4.10 : Giriş suyu mikroplastik türleri.

Kum tutucu çıkış suyunda 7 farklı plastik tür tespit edilmiştir. Baskın tür %23.68 etilenvinilasetat kopolimer polietilen, %22.07 polyester, %20.36 polietilen, % 18.98 polimetilmetakrilat olup az miktarlarda da polietilentetralat, poliamid, polipropilen, tespit edilmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 : Kum tutucu çıkış suyu mikroplastik türleri.

Geri devir çamurunda 8 farklı plastik tür tespit edilmiştir. Baskın tür %28.89 polyester, %24.49 etilenvinilasetat kopolimer, % 19.9 polimetilmetakrilat, %17.22 polietilen olup az miktarlarda da polietilentetralat, poliamid, polipropilen, poliakrilikasit tespit edilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 : Geri devir çamuru mikroplastik türleri.

12 farklı atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmada boyut sınıflandırması 500 µm'den büyük ve 500 µm'den küçük olarak sınıflandırılmış olup her boyut türünde baskın polimer tür PE'dir. Sentetik liflerde ise baskın tür PES'tir (Mintenig ve diğ., 2017).

Toplamda 13 polimer tanımlanmıştır ancak baskın polimer türler PES (% 60), PE (% 14) poliakrilatlar (% 7), PVC (% 5), PS (% 4) ve PP (% 3) olarak tespit edilmiştir. (Talvitie ve diğ., 2017a).

4.4 Mikroplastik Giderim Verimi ve Çamurda Birikimi

Mikroplastik giderim verimi denklem (4.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\% \text{ verim} = \frac{\text{giriş} - \text{çıkış}}{\text{giriş}} \times 100 \quad (4.1)$$

$$\frac{3139.5 - 220.5}{3139.5} \times 100 = \%92.98$$

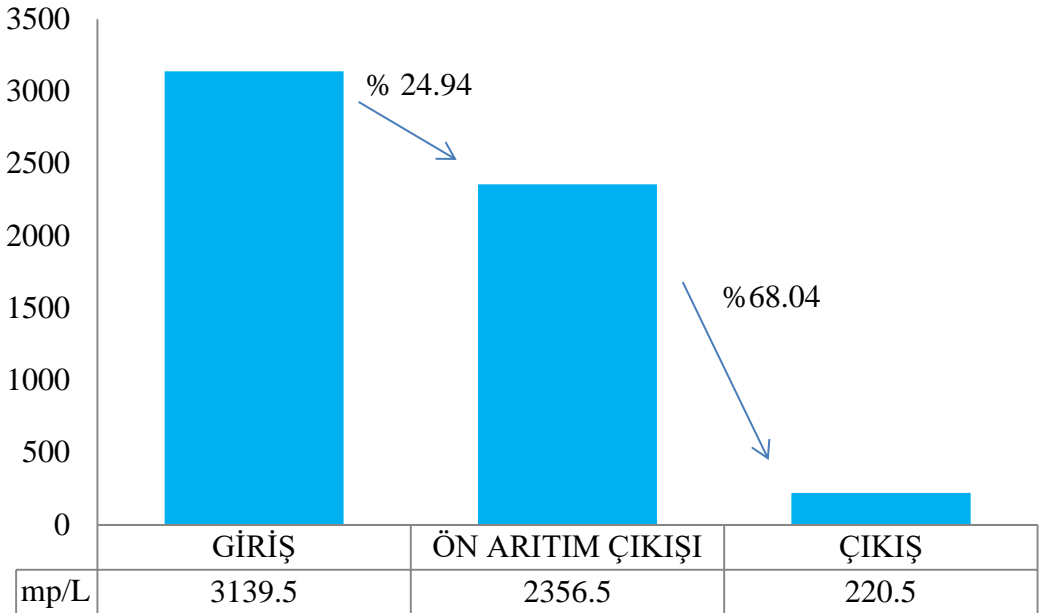
Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisinin mikroplastik giderim verimi % 92.98 olup literatürdeki sonuçlarla örtüşmektedir. Dris ve diğ. (2015); yapılan çalışmada

giderim verimini % 83-95 bulmuştur. Ziajahromi ve diğ. (2017); ise giderim verimini % 90 bulmuştur.

Denklem (4.1) kullanılarak aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır.

$$\frac{3139.5 - 2356.5}{3139.5} \times 100 = \%24.94$$

Giriş suyundan kum tutucuya geçerken mikroplastiklerin % 24.94'u giderilmekte olup kum tutucudan çıkış suyuna geçerken bu oran % 92.98 - % 24.94 'den % 68.04'tür (Şekil 4.13). Bu da birincil ve ikincil arıtım uygulanan tesislerin giderim verimlerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Hidayaturrahmana ve Lee. (2019); yapmış olduğu çalışmada sonuçlar gösterdi ki; birincil ve ikincil arıtma işlemleri atıksudaki mikroplastikleri etkin bir şekilde temizlemektedir (% 75 ile % 91.9).



Şekil 4.13 : Mikroplastik giderim verimi.

Yapılan çalışmalarda ham atıksuda ve arıtılmış atıksularda mikroplastik miktarları farklılık göstermektedir. Dris ve diğ. (2015); yapmış olduğu çalışmada ham atıksuda 260-320 mp/L, çıkış suyunda 14-50 mp/L tespit etmiştir. Atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmada sırasıyla birincil, ikincil, üçüncül arıtım gerçekleşen sularda ortalama 1.54 mp/L, 0.48 mp/L ve 0.28 mp/L mikroplastik bulunmuştur (Ziajahromi ve diğ., 2017). Leslie ve diğ. (2017); yapmış olduğu çalışmada giriş suyunda 68-910 mp/L, çıkış suyunda 51-81 mp/L mikroplastik gözlemlenmiştir

Simon ve diğ. (2018); Danimarka da bulunan 10 farklı atıksu arıtma tesisinde çalışma yapmıştır. Bu tesislerin 9'u evsel atıksu olup sadece 1 tanesinde atıksuyun % 25'i evsel % 75'i endüstriyel kökenlidir. Bütün atıksu arıtma tesislerinde aktif çamur ünitesi mevcuttur. Bu tesislerin giriş sularında sırasıyla; 10044 mp/L, 8762 mp/L, 6330 mp/L, 6021 mp/L, 18285 mp/L, 4994 mp/L, 2223 mp/L, 8149 mp/L, 7601 mp/L, 5362 mp/L bulunmuştur. Tesisin çıkışında ise sırayla; 127 mp/L, 447 mp/L, 42 mp/L, 29 mp/L, 214 mp/L, 182 mp/L, 35 mp/L, 19 mp/L, 43 mp/L, 65 mp/L olarak bulunmuştur. Gatiduo ve diğ. (2019); yapmış olduğu çalışmada ham atıksuda 3160 mp/L arıtılmış suda ise 125 mp/L mikroplastik gözlemlemiştir. Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi giriş suyunda; en fazla 4983 mp/L, en az 2094 mp/L ve ortalama 3139.5 mp/L olup, çıkış suyunda en fazla 405 mp/L, en az 102 mp/L ortalama 220.5 mp/L tespit edilmiştir. Bu sonuçlar bazı çalışmalar ile benzerlik göstermektedir (Simon ve diğ., 2018; Gatiduo ve diğ., 2019). Ancak bazı çalışmalara göre ise mikroplastik miktarı fazladır (Dris ve diğ., 2015; Ziajahromi ve diğ., 2017; Leslie ve diğ., 2017).

Plastik gibi maddeler biyolojik olarak parçalanamamaktadır bu nedenle mikroplastiklerin çamur ile uzaklaşmaktadır bu çalışmada giderim verimi % 92.98'dir. Mikroplastiklerin parçacık boyutu büyükse veya mikroplastikler şekil olarak lif şeklinde ise sudaki katı partiküllere veya organik maddelere tutunması daha kolay olmaktadır. Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi geri devir çamurunda; en fazla 14565 mp/kg, en az 11070 mp/kg ve ortalama 12682.5 mp/kg tespit edilmiştir. Leslie ve diğ. (2017); atıksu çamurunda 510 – 710 mp/kg tespit etmiştir. Mintening ve diğ. (2017); yapmış olduğu çalışmada 12 farklı atıksu arıtma tesisinden örnekler almıştır ve çamurda mikroplastik miktarını 1000 - 24000 mp/L aralığında tespit etmiştir. Gies ve diğ. (2018); yapmış olduğu çalışmada atıksu arıtma tesisinin hen birincil arıtım çamurundan hemde ikincil arıtım çamurundan numuneler almıştır. Birincil çamurda 14900 mp/kg, ikincil çamurda 4400 mp/kg tespit etmiştir. Lares ve diğ. (2018); atıksu arıtma tesisinde; birincil arıtım, aktif çamur, biyolojik arıtma, son çökeltme ve dezenfeksiyon ünitesi bulunan tesisin çamur örneklerinde 170900 mp/kg tespit etmiştir. Çalışmalar arasındaki farklılıkların nedeni; halkın tüketim alışkanlıkları, mikroplastikler için yapılan örneklemeler, atıksuya uygulanan ön işlemler ve analitik işlemlerde uygulanan yöntemlerin farklı olmasından kaynaklanabilmektedir. Bu nedenle mikroplastik tespiti için standartlaştırılmış bir metot geliştirilmelidir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma Doğu Atıksu Arıtma Tesisinden 4 farklı zamanda; giriş, kum tutucu çıkışı, çıkış suyu ve geri devir çamurundan numuneler alınarak mikroplastiklerin miktar ve şekil, renk, boyut ve yapısal özellikleri tayin edilmiştir. Mikroplastikler şekil olarak parça+film, lif, küre olmak üzere 3 kategoriye ayrılmıştır. Renk olarak benzer tonlar birlikte sayılmıştır ve siyah-lacivert, mavi, kırmızı-turuncu-pembe, yeşil, mor, kahverengirengi-krem-sarı ve beyaz-gri şeklinde 7 kategoriye ayrılmıştır. Mikroplastikler boyut olarak 0.3 mm - 0.5 mm, 0.5 mm - 1 mm ve 1 mm - 5 mm olmak üzere 3 kategoriye ayrılmıştır. Yapısal olarak ise PMMA, PE, PEVA, PES, PET, PA, PP, PAA olmak üzere 8 kategoriye ayrılmıştır

Giriş suyunda baskın olan mikroplastikler parça+film (% 60) dir. Baskın renk siyah-lacivert (% 40) olup mikroplastiklerin boyut aralığı 0.3 mm – 0.5 mm (% 94.1) dir. Baskın polimer tür ise PE (% 28.27) dir.

Kum tutucu çıkış suyunda baskın olan mikroplastikler parça+film (% 55) dir. Baskın renk siyah-lacivert (% 43) olup mikroplastiklerin boyut aralığı 0.3 mm – 0.5 mm (% 93.09) dir. Baskın polimer tür ise PEVA (% 23.68) dir.

Çıkış suyunda baskın olan mikroplastikler parça+film (% 61) dir. Baskın renk siyah-lacivert (% 44) olup mikroplastiklerin boyut aralığı 0.3 mm – 0.5 mm (% 94.1) dir. Çıkış suyunda parçacık boyutu çok küçük olduğu için FTIR analizi yapılamamıştır.

Geri devir çamurunda baskın olan mikroplastikler parça+film (% 54) dir. Baskın renk siyah-lacivert (% 46) olup mikroplastiklerin boyut aralığı 0.3 mm – 0.5 mm (% 89.53) dir. Baskın polimer tür ise PES (% 28.89) dir.

Numune alımı gerçekleştirilen tüm noktalar için genel olarak tespit edilen mikroplastikler siyah-lacivert renklerinde 0.3 mm - 0.5 mm boyutunda düzensiz yapıdaki parçacıklardır. Yapısal olarak ise FTIR analizleri ışığında baskın tür PE, PES, PMMA, PEVA'dır. Yapılan analizlerde örnekleme zamanına göre mikroplastik miktarında değişimler gözlenmiştir. Bununla birlikte, ortalama değer dikkate alındığında bu değişimin sınırlı düzeyde olduğu görülmektedir.

Atıksu arıtma tesisleri sucul alıcı ortamlar için önemli mikroplastik kaynağı olarak kabul edilmektedir. Doğu Atıksu arıtma tesisi temel olarak mikroplastik giderimi amacı güdülen tasarlanmadığı halde yaklaşık % 93'lük mikroplastik giderim verimi olduğu tespit edilmiştir. Kentsel atıksu arıtma tesisinin debisi ve arıtım sonrası atıksuda kalan mikroplastik miktarı dikkate alındığında deşarj noktasından alıcı ortama karışan mikroplastiklerin çevresel açıdan izlenmesi ve ilave tedbirlerin alınması gerekliliği anlaşılmaktadır.

Mikroplastik kirliliğinin önüne geçmek için; sivil toplum kuruluşları ve kamu kuruluşları birlikte çalışma yaparak mikroplastik kirliliği hakkında halkı bilinçlendirmeli ve kirlilik oluşmadan engellenmelidir. Plastik kullanımı azaltılmalı ve plastiğin geri dönüşümü sağlanmalıdır. Poşetin ücretlendirilmesi ile azalan poşet kullanımı gibi yaptırımlar tüm plastik maddeler için uygulanmalıdır. Kirleten öder politikası ile sorumluluk üreticiye verilmeli ve plastik ambalaj ürünleri yerine geri dönüşümü daha kolay olan alternatif ürünler geliştirilmelidir.

Kozmetik ürünlerinde kullanılan mikrobuncukların kullanımı yasaklanmalı, bu konuda tüketiciye bilgi verilmelidir. İçeriğinde mikrobuncuk bulunan ürünlerin fiyatları arttırılmalı ve bu ürünlere alternatif çevre dostu ürünler üretilmelidir.

Tekstil ürünleri geliştirilmeli, sentetik ve doğal tekstil ürünleri kombinasyonu sağlanmalı ve içeriğinde plastik olmayan ürünlerin satışı desteklenmelidir. Çamaşır makineleri tahliyelerinde filtreler kullanılmalıdır.

Atıksu arıtma tesislerinin mikroplastik giderim verimleri hesaplanmalı ve bu doğrultuda iyileştirilmiş atık yönetim planları oluşturulmalıdır. Atık yönetim planlarının uygulanması denetlenmelidir. Arıtma çmurlarının toprakta kullanılması ile toprağa ulaşan mikroplastik miktarda incelenmeli ve gerekli tedbirler alınmalıdır.

KAYNAKLAR

Abayomi, O. A., Range, P., Al-Ghouti, M. A., Obbard, J. P., Almeer, S. H. & Ben-Hamadou, R. (2017). Microplastics in coastal environments of the Arabian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), 181–188. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.07.011.

Aliabad, M. K., Nassiri, M., & Kor, K. (2019). Microplastics in the surface seawaters of Chabahar Bay, Gulf of Oman (Makran Coasts). *Marine Pollution Bulletin*, 143, 125–133. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.04.037.

Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.

Bayo, J., Olmas, S., Lopez-Castellonos, J., & Alcolea, A. (2016). Microplastics and microfibers in the sludge of a municipal wastewater treatment plant. *Technical University Of Cartegane*, 11(5), 812-821. doi:10.2495/SDP-V11-N5-812-821.

Blight, L. K., & Burger, A. E. (1997). Occurrence of plastic particles in seabirds from the eastern North Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 34(5), 323–325. doi:10.1016/s0025-326x(96)00095-1.

Blumenröder, J., Sechet, P., Kakkonen, J. E., & Hartl, M. G. J. (2017). Microplastic contamination of intertidal sediments of Scapa Flow, Orkney: A first assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), 112–120. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.07.009.

Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175–9179. doi:10.1021/es201811s.

Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis*(L.). *Environmental Science & Technology*, 42(13), 5026–5031. doi:10.1021/es800249a.

Carbery, M., O'Connor, W., & Palanisami, T. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment International*, 115, 400–409. doi:10.1016/j.envint.2018.03.007.

Carpenter, E. J., & Smith, K. L. (1972). Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science*, 175(4027), 1240–1241. doi:10.1126/science.175.4027.1240.

Carr, S. A., Liu, J., & Tesoro, A. G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research*, *91*, 174–182. doi:10.1016/j.watres.2016.01.002.

Ceylan, B. (2017) *Atıksulardaki mikroplastik kirliliğinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi) Sakarya Üniversitesi, Fen BilimLeri Enstitüsü, Sakarya.

Conley, K., Clum, A., Deepe, J., Lane, H., & Beckingham, B. (2019). Wastewater treatment plants as a source of microplastics to an urban estuary: Removal efficiencies and loading per capita over one year. *Water Research X*, 100030. doi:10.1016/j.wroa.2019.100030

Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). Microplastics, standardisation and spatial distribution. *Microplastic Pollutants*, 101–130. doi:10.1016/b978-0-12-809406-8.00005-0.

Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renault, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris. *Environmental Chemistry*, *12*(5), 592. doi:10.1071/en14167.

Edo, C., Tamayo-Belda, M., Martínez-Campos, S., Martín-Betancor, K., González-Pleiter, M., Pulido-Reyes, G., García-Ruiza, C., Zapataa, F., Leganés, F., Fernández-Piñas, F., Rosal, R. (2019). Occurrence and identification of microplastics along a beach in the Biosphere Reserve of Lanzarote. *Marine Pollution Bulletin*, *143*, 220–227. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.04.061.

Eriksson, C., & Burton, H. (2003). Origins and Biological Accumulation of Small Plastic Particles in Fur Seals from Macquarie Island. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, *32*(6), 380–384. doi:10.1579/0044-7447-32.6.380.

Farrell, P., & Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution*, *177*, 1–3. doi:10.1016/j.envpol.2013.01.046.

Fendall, L. S., & Sewell, M. A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, *58*(8), 1225–1228. doi:10.1016/j.marpolbul.2009.04.025.

Gatidou, G., Arvaniti, O. S., & Stasinakis, A. S. (2019). Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants. *Journal of Hazardous Materials*, *367*, 504-5012. doi:10.1016/j.jhazmat.2018.12.081

Gies, E. A., LeNoble, J. L., Noël, M., Etemadifar, A., Bishay, F., Hall, E. R., & Ross, P. S. (2018). Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada. *Marine Pollution Bulletin*, *133*, 553–561. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.06.006.

Guo, X., & Wang, J. (2019). The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, *142*, 1–14. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.03.019.

HELCOM, (2014) Preliminary study on synthetic microfibers and particles at municipal waste water treatment plants.

Hidayaturrahman, H., & Lee, T.-G. (2019). A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 696–702. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.06.071.

Hu, Y., Gong, M., Wang, J., & Bassi, A. (2019) Current research trends on microplastic pollution from wastewater systems: a critical Review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 18(2): 207-230. doi:10.1007/s11157-019-09498-w.

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. doi:10.1016/j.watres.2018.01.049.

Leslie, H. A., Brandsma, S. H., van Velzen, M. J. M., & Vethaak, A. D. (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International*, 101, 133–142. doi:10.1016/j.envint.2017.01.018.

Liu, X., Yuan, W., Di, M., Li, Z., & Wang, J. (2019). Transfer and fate of microplastics during the conventional activated sludge process in one wastewater treatment plant of China. *Chemical Engineering Journal*, 362, 176–182. doi:10.1016/j.cej.2019.01.033.

Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C. G., Della Torre, C., Parenti, C. C., Gorbi, S., Regoli, F. (2018). The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant. *Science of The Total Environment*, 652, 602–610. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.269.

Magnusson, K., & Noren F., (2014) Screening of microplastic particles in and down-stream a wastewater treatment plant. *IVL Swedish Environmental Research Institute*.

Mallory, M. L. (2008). Marine plastic debris in northern fulmars from the Canadian high Arctic. *Marine Pollution Bulletin*, 56(8), 1501–1504. doi:10.1016/j.marpolbul.2008.04.017.

Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D., & Rogers, D. L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution*, 218, 1045–1054. doi:10.1016/j.envpol.2016.08.056.

Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Löder, M. G. J., Primpke, S., & Gerdtts, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research*, 108, 365–372. doi:10.1016/j.watres.2016.11.015.

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science & Technology*, 50(11), 5800–5808. doi:10.1021/acs.est.5b05416.

Napper, I. E., Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2015). Characterisation, quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine Pollution Bulletin*, 99(1-2), 178–185. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.07.029.

Özek, E. U., (2016) Ambalaj sektörü ve TRB1, Fırat Kalkınma Ajansı, 13-16.

Prata, J. C., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2018). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: a critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 150-159. doi:10.1016/j.trac.2018.10.029.

Simon, M., van Alst, N., & Vollertsen, J. (2018). Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Research*, 142, 1–9. doi:10.1016/j.watres.2018.05.019.

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 (1-2), 202–209. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.01.015.

Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., & Ni, B.-J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*. 152, 21-37. doi:10.1016/j.watres.2018.12.050.

Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M. E. J., Goïc, N. L., Quillien, V., Mingant, C., Epelpoin, Y., Corporeau, C., Guyomarch, J., Robbens J., Paul-Pont I., Soudant P., & Huvet, A. (2016). Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(9), 2430–2435. doi:10.1073/pnas.1519019113.

Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O. (2017a). Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research*, 123, 401–407. doi:10.1016/j.watres.2017.07.005.

Talvitie, J., Mikola, A., Setälä, O., Heinonen, M., & Koistinen, A. (2017b). How well is microlitter purified from wastewater? – A detailed study on the stepwise removal of microlitter in a tertiary level wastewater treatment plant. *Water Research*, 109, 164–172. doi:10.1016/j.watres.2016.11.046.

Url 1, <http://www.burcplastik.net>, erişim tarihi: 11.04.2019.

Url 2, http://www.buski.gov.tr/tr/icerik/dogu_atik_su_aritma_tesisi_575, erişim tarihi: 23.08.2019.

Vethaak, A. D., & Leslie, H. A. (2016). Plastic debris is a human health issue. *Environmental Science & Technology*, 50 (13), 6825–6826. doi:10.1021/acs.est.6b02569.

Wang, W., Yuan, W., Chen, Y., & Wang, J. (2018). Microplastics in surface waters of Dongting Lake and Hong Lake, China. *Science of The Total Environment*, 633, 539–545. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.211.

Ziajahromi, S., Neale, P. A., Rintoul, L., & Leusch, F. D. L. (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research*, 112, 93–99. doi:10.1016/j.watres.2017.01.042.

Zitko, V., & Hanlon, M. (1991). Another source of pollution by plastics: Skin cleaners with plastic scrubbers. *Marine Pollution Bulletin*, 22(1), 41–42. doi:10.1016/0025-326x(91)90444-w.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ezgi BAKKALOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.05.1992 - Kırıkkale
E-posta : ezgibakkaloglu.04@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği