ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE MİKROPLASTİKLERİN AKIBETİ

Kübra BOZDAŞ

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE MİKROPLASTİKLERİN AKIBETİ

Kübra BOZDAŞ
0000-0003-4921-2058

Prof. Dr. Gökhan Ekrem ÜSTÜN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

ATIKSU ARITMA TESİSLERİNDE MİKROPLASTİKLERİN AKIBETİ

Kübra BOZDAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gökhan Ekrem ÜSTÜN

Plastikler sahip oldukları özellikler nedeniyle çok geniş ürün yelpazesi üretiminde kullanılmaktadır. Her geçen yıl plastik tüketiminin artması beraberinde plastik kirliliğini getirmektedir. Plastiklerin çevresel süreçler ile parçalanması sonucu oluşan mikroplastik (MP) adı verilen parçacıklar deniz, göl, nehir, atmosfer, toprak gibi çeşitli çevresel ortamlarda bulunur. Yapılan çalışmalar ile Atıksu Arıtma Tesislerinin (AAT) sucul ve karasal ortamlar için önemli bir noktasal MP kaynağı olduğu kanıtlanmıştır. MP'lerin AAT'de giderim verimlerinin yüksek olmasına rağmen alıcı ortamlara verilen çıkış su miktarı baz alındığında çok fazla miktarlarda salınım söz konusudur.

Yapılan bu çalışma ile Bursa'nın batısında bulunan kentsel AAT'den farklı dönemlerde ve farklı ünitelerden alınan örneklerde ünitelerinde MP giderme verimliliği incelenmiştir. Öncelikle MP'ler, stereo mikroskop kullanılarak şekil, renk, boyut olarak sınıflandırılmış ve sayım yapılmıştır. Ardından ATR-FTIR spektroskopi ile polimer türleri belirlenmiştir.

AAT'nin MP giderme verimi %93,7 olarak bulunmuştur. Buna rağmen her gün yüksek hacimlerde arıtılmış atıksu debileri nedeniyle su ortamlarına yaklaşık 522 210 000 MP salınmaktadır. Çamur kekindeki MP'lerin bolluğu 9,5±2,3 s/g, AAT'nin çamur bertaraf miktarı 81,5 ton/gün ve günde çamurda biriken MP miktarı 774 250 000 MP olarak hesaplanmıştır. Atıksu ve çamur numunelerinde şekil, boyut, renk ve türde; fragman şeklinde, 1000 - 500 µm boyutunda, siyah renkli ve PE ve PP türünde MP'ler baskın özellikte olanlar olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plastik, Mikroplastik, Atıksu arıtma tesisi, Giderim verimi, Mikroplastik sayısı ve türü

2022, vii + 51 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

FATE OF MICROPLASTICS IN WASTEWATER TREATMENT PLANT

Kübra BOZDAŞ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Gökhan Ekrem ÜSTÜN

Plastics are used in the production of a wide range of products due to their properties. The increase in plastic consumption every year brings with it plastic pollution. Particles called microplastics (MP), which are formed as a result of the degradation of plastics by environmental processes, are found in various environmental environments such as sea, lake, river, atmosphere and soil. Studies have proven that Wastewater Treatment Plants (WWTP) are an important source of point MP for aquatic and terrestrial environments Despite the high removal efficiency of MPs in WWTP, there is a large amount of release based on the amount of effluent given to the receiving environment.

With this study, MP removal efficiency was investigated in the samples taken from different units and at different periods from the urban WWTP located in the west of Bursa. First of all, MPs were classified as shape, color, size and counted using a stereo microscope. Then, polymer types were determined by ATR-FTIR spectroscopy.

MP removal efficiency of AAT was found to be 93,7%. Despite this, approximately 522 210 000 MP is released into the aquatic environment every day due to high volumes of treated wastewater flow rates. The abundance of MPs in the sludge cake was calculated as 9,5±2,3 s/g, the sludge disposal amount of WWTP was 81,5 tons/day and the amount of MP accumulated in the sludge per day was calculated as 774 250 000 MP. Shape, size, color and type in wastewater and sludge samples; fragment-shaped, 1000 - 500 μm in size, black in color and PE and PP types were determined as the dominant ones.

Key words: Plastic, Microplastic, Wastewater treatment plant, Removal efficiency, Number and type of microplastics

2022, vii + 51 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana rehberlik eden, bilgi ve deneyimleri ile desteğini esirgemeyen ve yol gösteren, güler yüzlü ve iyi kalpli danışman hocam Prof. Dr. Gökhan Ekrem ÜSTÜN 'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında deney yapmayı keyifli hale getiren, neşesi ve güler yüzü hiç eksik olmayan, yardımlarını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Tuğba CAN'a, teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın her aşamasında yardım ve desteklerini esirgemeyen, bana her konuda koşulsuz güvenen ve her zaman yanımda olacaklarına inandığım değerli aileme en içten sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

"BAP FGA 2021-322 numaralı proje ile maddi destek veren Bursa Uludağ Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine" teşekkür ederim.

Kübra BOZDAŞ
…/…/…….

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 3
2.1. Plastikler 3
2.2. Mikro Plastikler 5
2.3. Mikro Plastiklerin Kaynakları 6
2.4. Mikro Plastiklerin Sınıflandırılması 8
2.5. Mikro Plastiklerin İnsan Yaşamına Etkisi 8
2.6. Mikro Plastiklerin Çevresel Ortamlarda Dağılımı 9
2.7. Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikro Plastikler 10
2.8. Arıtma Çamurunda Mikro Plastikler 15
3. MATERYAL ve YÖNTEM 16
3.1. Çalışma Alanı 16
3.2. Örneklemelerin Alınması 16
3.2.1. Atıksu numunelerinin alınması 18
3.2.2. Çamur örneklemelerinin alınması 19
3.3. Elek Analizi 21
3.4. Organik Ayrımı 21
3.5. İnorganik Ayrımı 23
3.6. Şekil, Boyut ve Renk Analizi 23
3.7. Tür Analizi 25
3.8. Kalite ve Kontrol 26
4. BULGULAR 28
4.1. AAT'de Mikro Plastiklerin Sayısı 31
4.2. Mikro Plastiklerin Renkleri 32
4.3. Mikro Plastiklerin Şekilleri 34
4.4. Mikro Plastiklerin Boyutları 35
4.5. Mikro Plastiklerin Türleri 37
4.6. Çevresel Ortamlara Salınan Mikro Plastik Miktarı 38
5. TARTIŞMA ve SONUÇ 40
KAYNAKLAR 42
ÖZGEÇMİŞ 51

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
H_2O_2	Hidrojen peroksit
HCl	Hidroklorik Asit
NaCl	Sodyum Klorür
NaClO	Sodyum Hipoklorit
NaOH	Sodyum Hidroksit

Kısaltmalar	**Açıklama**
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
ATR-FTIR	Zayıflatılmış Toplam Yansıma –Fourier Dönüşümlü Kızıl Ötesi Spektrometresi
EVA	Etilen Vinil Asetat
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
MM	Milimetre
MT	Metrik Ton
MP	Mikro Plastik
MPP	Mikro Plastik Parçacık
PA	Polyamid (Naylon)
PC	Polikarbonat
PVC	Polivinil klorür
PE	Polietilen
PET	Polietilen tereftalat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
SAN	Stiren Akrilonitril
UV	Ultroviyole
WPO	Islak Peroksit Oksidayonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Nüfus artışı ile birlikte küresel plastik üretimindeki artış 1
Şekil 2.1. Alt sektörler bazında plastik mamul üretimi – 1000 ton 2021/9 ay 4
Şekil 2.2. Su ortamında sentetik polimerlerin bozunma yolları, bozunma süreçleri ve mineralizasyona kadar gerçekleşen ara adımlar 5
Şekil 2.3. MP'lerin boyut sınıflandırılması 6
Şekil 2.4. Birincil ve ikincil MP kaynakları 7
Şekil 2.5. Birincil ve ikincil MP tipleri 7
Şekil 2.6. MP'lere maruz kalma yolları ve insan sağlığına etkileri 9
Şekil 2.7. AAT'lerde tespit edilen MP'lerin kaynakları 11
Şekil 3.1. Batı atıksu arıtma tesisi genel görünümü 16
Şekil 3.2. Arıtma tesisinden örneklem alınan noktalar 17
Şekil 3.3. AAT'den numune alma işlemleri 18
Şekil 3.4. Çamur numunelerinde yoğunluk ayırma işlemi 19
Şekil 3.5. Çamur numunelerinde ıslak peroksidasyon işlemi 20
Şekil 3.6. Çelek elek seti 21
Şekil 3.7. Etüvde kurutma ve organik madde giderim işlemi 22
Şekil 3.8. MP sınıflandırılmasında kullanılan LEİCA EZ4E marka stereo mikroskop 24
Şekil 3.9. Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin mikroskobik görüntüleri 25
Şekil 3.10. ATR-FTIR spektroskopi ile polimer türlerinin belirlenmesi 26
Şekil 4.1. Giriş atıksuyunda tespit edilen MP'lerin görüntüleri 28
Şekil 4.2. Kum tutucu çıkış atıksuyunda tespit edilen MP'lerin görüntüleri 29
Şekil 4.3. Son çökeltim çıkış atıksuyunda tespit edilen MP'lerin görüntüleri 29
Şekil 4.4. Geri devir çamurunda tespit edilen MP'lerin görüntüleri 30
Şekil 4.5. Çamur yoğunlaştırmada tespit edilen MP'lerin görüntüleri 30
Şekil 4.6. Çamur kekte tespit edilen MP'lerin görüntüleri 30
Şekil 4.7. Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin sayısı ve standart sapmaları 31
Şekil 4.8. Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin renk dağılımı 33
Şekil 4.9. Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin şekil dağılımı 34
Şekil 4.10. Atıksu ve çamur numunelerinde MP'lerin boyutları 36
Şekil 4.11. Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP türleri a) atıksu numuneleri (iç halka S1, dış halka S3) b) çamur numuneleri (iç halka Ç2, dış halka Ç3) 37

ÇİZELGELER DİZİNİ

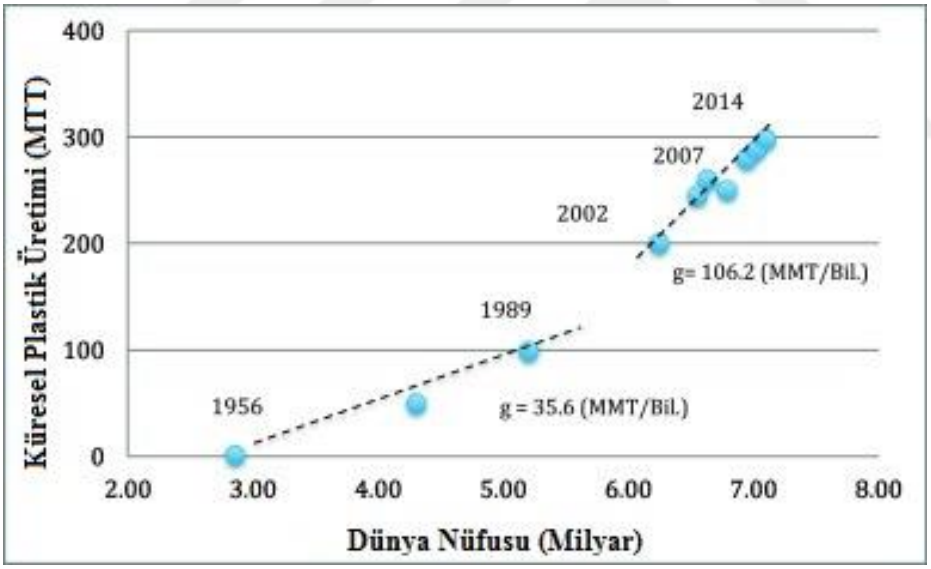
Sayfa

Çizelge 2.1. MP'lerin sınıflandırılmasında kullanılan kategoriler 8
Çizelge 2.2. AAT'lerde bulunan plastik türlerinin kullanıldığı alanlar ve yoğunlukları 12
Çizelge 2.3. Uygulanan arıtma teknolojilerine bağlı olarak farklı atıksu arıtma tesislerinde MP giderim verimleri..... 13
Çizelge 2.3. Uygulanan arıtma teknolojilerine bağlı olarak farklı atıksu arıtma tesislerinde MP giderim verimleri (devam) 14
Çizelge 2.4. Tespit edilen arıtma çamurlarında ki MP konsantrasyonları..... 15
Çizelge 3.1. Örneklemelerin alındığı tarih ve hava durumu 17
Çizelge 3.2. Örnekleme noktaları ve alınan hacimler..... 17
Çizelge 5.1. AAT'ler de rapor edilen MP bolluğu, giderimi ve salınımı 40

1. GİRİŞ

Plastikler; hafif olmaları, kolay işlenmeleri, dayanıklılıkları, kullanımın kolay ve düşük maliyetli olmasından dolayı paketleme ve kapaklama uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Yurtsever, 2015; Zhang ve Chen, 2020).

Plastiklerin seri olarak üretimi 1950'lerde başlamıştır (Barnes, Galgani, Thompson, ve Barlaz, 2009). Gelişen teknoloji ve sanayileşme beraberinde tüketim sorununu da getirmiştir. Şekil 1.1' de görüldüğü gibi toplam plastik üretimindeki artışın nüfus artış hızından fazla olması, kişi başına düşen plastik tüketiminin ne kadar arttığını göstermektedir (Andrady, 2017). Dolayısıyla plastik atıklar günden güne büyüyen bir çevre sorunu olmakla beraber gezegenimizin geleceği için tehdit unsuru haline gelmiştir. Buna bağlı olarak da bilimsel araştırmalarda ilgi odağı olmuş ve son yıllarda konu ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır.



Şekil 1.1. Nüfus artışı ile birlikte küresel plastik üretimindeki artış (Andrady 2017)

1950'lerden bu yana hızla ve katlanarak artan plastik tüketimine bağlı olarak 2050 yılına gelindiğinde mevcut rakamlara 33 milyar ton plastik ekleneceği tahmin edilmektedir (Aslan, 2018). Günümüze kadar olan süre zarfı boyunca plastik tüketim miktarında ki büyüme oranına bakıldığında plastik kirliliğin kaçınılmaz bir son olduğu ve plastik çağını yaşadığımızı söylenebilir.

Plastik parçacıkların boyutu 5 milimetre (mm)'den küçük olanları mikro plastik (MP) olarak adlandırılmaktadır (Jiang, 2018). Plastik atıkların gereğinden fazla kullanımı ve kötü atık yönetimi MP'lerin her yerde bulunmasına neden olmaktadır (Sun, Dai, Wang, van Loosdrecht ve Ni, 2019). MP'lerin yaygın olarak deniz (Desforges, Galbraith, Dangerfield ve Ross, 2014), göl (Eriksen ve diğerleri, 2013), nehir (McCormick, Hoellein, Mason, Schluep ve Kelly, 2014), toprak (Zhang ve Liu, 2018), kıyı şeridi (Thompson ve diğerleri, 2004) ve atmosfer (Dris, Gasperi, Saad, Mirande ve Tassin, 2016) gibi çeşitli çevresel ortamlarda bulunduğu yapılan çalışmaların sonucu olarak bulunmuştur.

Okyanus ortamındaki plastik parçacıkların varlığı ilk 1972'li yıllarda tespit edilmiştir. (Carpenter ve Smith, 1972). Plastik üretiminin artması beraberinde plastik atık oluşumunu da getirmiş olup 2010 yılında 275 milyon metrik ton (MT) seviyelerine ulaşan plastiğin atıkların 4,8-12,7 milyon MT kısmının okyanuslara karıştığı rapor edilmiştir (Jambeck ve diğerleri, 2015). Deniz ortamında bulunan plastiklere; plaj atıkları, atık su arıtma tesislerinden (AAT) alıcı ortama deşarj, balıkçılık faaliyetleri neden olmaktadır. (Habib, Thiemann ve Kendi , 2020).

Su ortamlarında ki MP'lere kaynak görevi gören AAT'lerde (Gündoğdu, Çevik, Güzel ve Kilercioğlu, 2018) atıksu çıkış suyu ve arıtma çamuru yüksek konsantrasyonda MP içerir (Wei ve diğerleri, 2021). Arıtma çamurunun tarımsal arazilere uygulanması ile toprağa önemli derecede MP girdisi olur (Okoffo ve diğerleri, 2020). AAT'ler tatlı su ortamları ve karasal ortamlarda MP kirliliğine neden olmakta (Li ve diğerleri, 2018) ve bu sebeple MP'lerin tespiti, değişimi ve akıbetinin anlaşılması MP kontrolünde büyük önem taşımaktadır (Sun ve diğerleri, 2019).

Bu çalışmanın amacı, yoğun kentleşme ve sanayileşme ile büyüyen Bursa'nın batısında bulunan kentsel AAT'den farklı dönemlerde ve farklı ünitelerden alınan atıksu ve çamur örnekleri ile AAT'nin MP giderme verimliliğinin üniteler bazında incelenmesi, AAT'de görülen MP'lerin şekil, renk, boyut ve tür olarak tespit edilmesi ve çevresel ortamlara karışan MP miktarının belirlenmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Plastikler

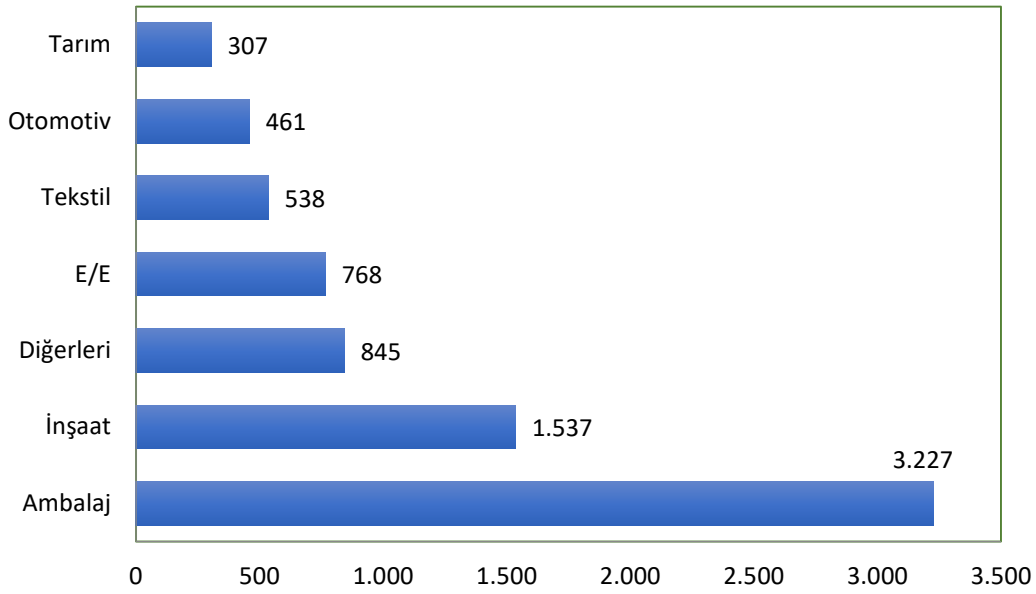
1950'lerden itibaren kullanılmaya başlayan (Aslan, 2018) plastikler polimerik yapıda olup petrol türevlerinden üretilen malzemelerdir (Önder, Günal ve Sepici Dinçel, 2020). Hafif, esnek, kolay işlenebilir, korozyona karşı duyarlı ve ekonomik olmalarından dolayı plastikler yaygın olarak kullanılmaktadır (Yurtsever, 2015).

Plastiklerin genel özelliklerini aşağıdaki gibi sıralanabilir; (Arı ve Öğüt, 2021)

- Hafiftirler ve suda yüzerler.
- Bir çeşit polimerlerdir.
- Hidrofobiktir.
- Kolay şekillendirilme ve işlenebilirlik.
- Elektrik ve ısıya karşı yalıtkan özelliktedirler.
- Kimyasalların pek çoğuna karşı dayanaklıdırlar.
- Rejenere edilebilirler.
- Katkı madde ilavesi ile daha dayanıklı hala gelebilirler.
- Toksik kimyasalları adsorbe eğiliminde olup taşıyabilirler.

Dolayısıyla plastiklerin bu özellikleri çok geniş çapta ürün imalatının kullanımında uygundur (Derraik, 2002). Yaygın kullanımı olan plastik türleri; polietilen tereftalat (PET), polyamid (PA), polyester, polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polikarbonat (PC) ve polivinil klorür (PVC) 'dür (Liu, Yuan, Di, Li ve Wang, 2019).

2021 yılında Ocak ve Eylül ayları arasında üretilen 7,7 milyon tonluk toplam plastik mamulün yaklaşık 3,23 milyon tonu plastik ambalaj malzemeleri iken, 1,54 milyon tonu ise plastik inşaat malzemeleridir. Toplam plastik mamul üretiminin alt sektörler bazında dağılımı Şekil 2.1'de verilmiştir (Pagev, 2021 #300).



Şekil 2.1. Alt sektörler bazında plastik mamul üretimi – 1000 ton 2021/9 ay (Pagev 2021)

Plastikler özelliklerinden dolayı hayatımıza getirdikleri kolaylıkların yanı sıra ciddi boyutlarda çevresel sorunlara da yol açmaktadır. Plastik poşetler ve gıda ambalajı gibi tek kullanımlık plastik ürünleri gereğinden fazla kullanılmakta ve insanlar tarafından kullanım sonucunda bilinçsizce doğaya atılmaktadır. Doğaya atılan bu plastikler ile ilk karasal ortam kirlenmekte olup zamanla yağış, rüzgar ve akarsular ile bu kirletici su ortamına taşınır.

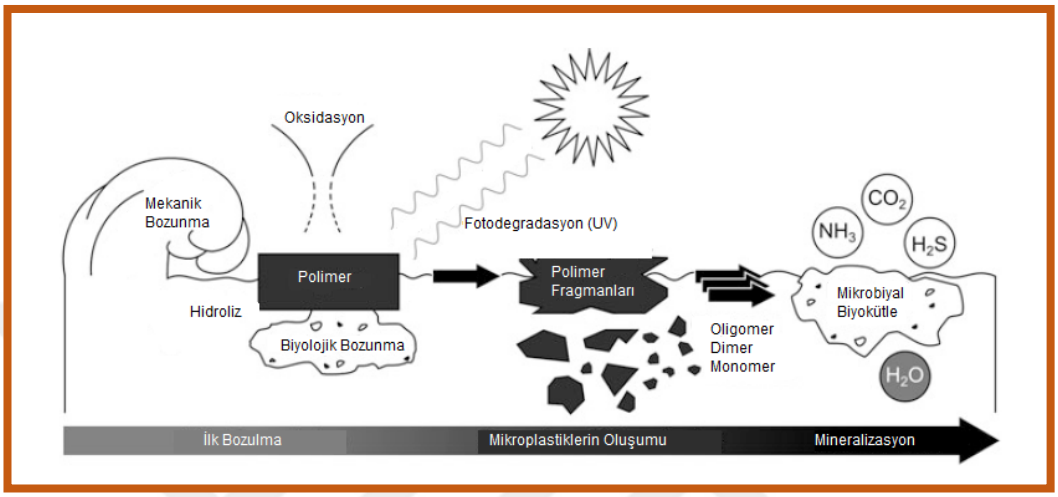
Okyanusa giren plastiklerin ana kaynaklarından biri de yetersiz atık yönetimidir (Oliveira, Almeida ve Miguel, 2019). 2010 yılı atık tahminlerine göre yanlış yönetilen plastik atık sıralamasında Türkiye, dünya da 14. sırada yer almaktadır (Jambeck ve diğerleri, 2015).

Plastiklerin fiziksel aşınmaya maruz kalması sonucunda parçalanarak MP adı verilen daha küçük parçalara dönüşmektedir. Sentetik polimerlerin bozulması için en önemli süreçler;

- fiziksel bozulma (aşındırıcı kuvvetler, ısıtma/soğutma, , donma / çözülme, ıslanma /kurutma)
- fotodegradasyon (genellikle Ultraviyole (UV) ışığıyla)

- kimyasal bozunma (oksidasyon veya hidroliz)

- organizmalar (bakteri, mantar, alg) tarafından biyolojik olarak parçalanmasıdır. Sentetik polimerlerin sucul ortamda bozulması Şekil 2.2'deki gibidir (Klein, Dimzon, Eubeler ve Knepper, 2018).

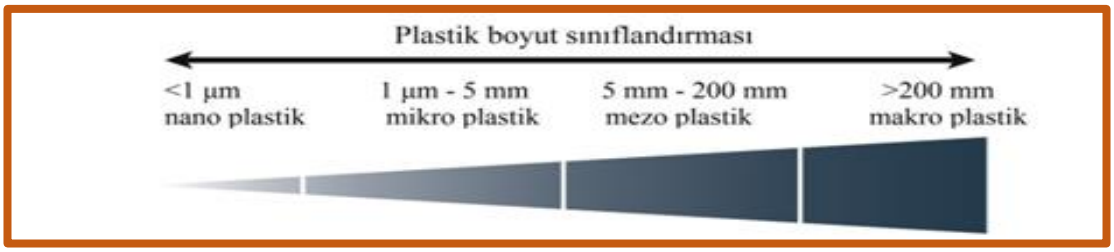


Şekil 2.2. Su ortamında sentetik polimerlerin bozunma yolları, bozunma süreçleri ve mineralizasyona kadar gerçekleşen ara adımlar (Klein ve diğerleri 2018'den değiştirilerek alınmıştır)

1970'li yılların başında deniz ortamında mikro ölçek boyutunda plastik parçacıklar gözlenmiş olup, MP kavramı Thompson ve diğerleri (2004) tarafından yapılan çalışma sonrası yaygın kullanılmaya başlanmıştır.

2.2. Mikro Plastikler

MP'ler; 5 mm'den küçük plastik parçacıklardır (Jia-QianJiang, 2018). Lee ve diğerleri (2013) plastikleri büyük MP (1 ile< 5 mm), mezoplastikler (5 ile<25 mm) ve makroplastikler (≥25 mm) olarak 3 kategoride sınıflandırmışlardır. MP'lerin boyut sınıflandırılması Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



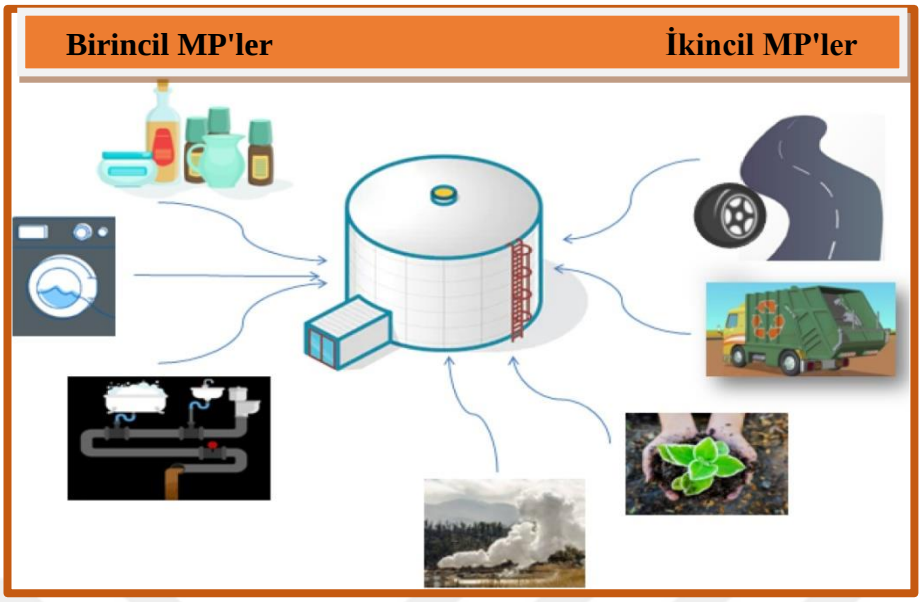
Şekil 2.3. MP'lerin boyut sınıflandırılması (Desforges ve diğerleri 2014)

MP'ler çevresel ortamlara salınımları sonucunda biriktikleri deniz ve tatlı su ortamlarında canlı ve çevresel açısından küresel bir endişe haline gelmiştir (Bonfanti ve diğerleri, 2021). Sentetik polimer tüketiminin yüksek olması, yetersiz bertaraf ve geri dönüşüm ile bilinçsiz toplum nedeniyle MP'lerin gelecekte sürekli artacağı tahmin edilmektedir (Bretas Alvim, Bes-Pia ve Mendoza-Roca, 2020). Çevresel ortamlara MP girdisinde insan kaynaklı faaliyetler oldukça önemli derecede olup giderek artmaktadır (Wolff, Kerpen, Prediger, Barkmann ve Muller, 2019).

2.3. Mikro Plastiklerin Kaynakları

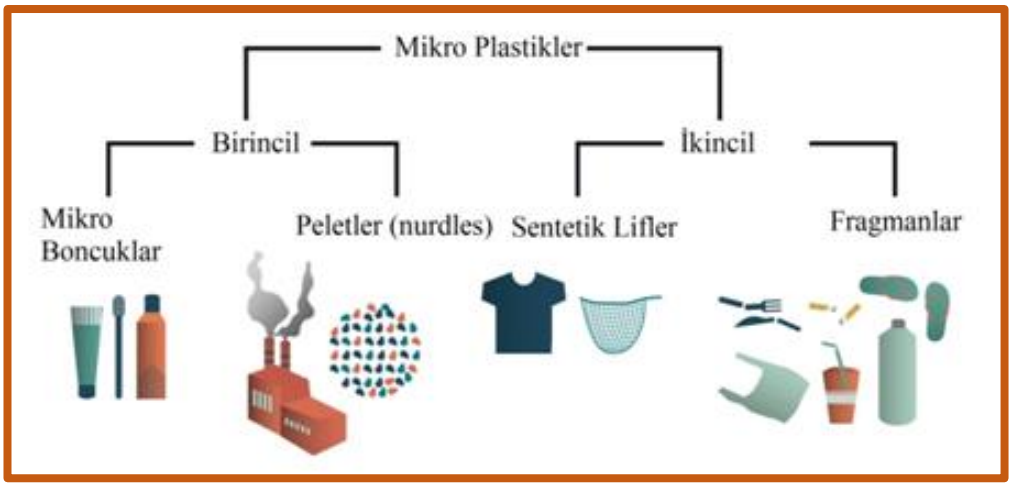
MP'ler oluştukları kaynaklara göre birincil MP ve ikincil MP'ler olarak sınıflandırılır. Kozmetik ürünleri, kişisel sağlık ürünleri, çocuk ürünleri ve böcek kovucular birincil MP'lerin kaynağını oluştururken, ikincil MP'ler ise daha büyük boyutlu plastiklerin fiziksel, biyolojik ve kimyasal parçalanması sonucunda üretilir (Gola ve diğerleri, 2021).

MP'lerin kaynakları; sentetik kaynaklı tekstil lifleri, mikro boncuk içeren kozmetik, deterjan ve diş macunları, plastik üretimi yapan fabrika atıkları, otomobil lastiklerinin aşınması, farklı etkiler sebebiyle plastiklerin daha küçük parçalara dönüşmesi sayılabilir (Yurtsever, 2015). Şekil 2.4'de birincil ve ikincil MP kaynakları görsel olarak verilmiştir.



Şekil 2.4. Birincil ve ikincil MP kaynakları (Turan, Erkan ve Engin, 2021)

Birincil MP'ler kozmetik ve tıbbi ürünlerde bulunan PP, PE ve PS parçacıklarını içerir (Horton, Walton, Spurgeon, Lahive ve Svendsen, 2017). Kozmetik ve deterjan içerisindeki mikro boncuklar ve peletler tasarlanarak üretilen birincil kaynakları oluştururken (Zhang ve Liu, 2018), fragman ve lif gibi daha büyük plastiklerin çevresel etmenler (güneş ışığı, su, rüzgar) ile daha küçük parçacıklara ayrışmasıyla ikincil MP'ler oluşmaktadır (Sun ve diğerleri, 2019). MP'lerin birincil ve ikincil kaynaklarına göre tipleri Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Birincil ve ikincil MP tipleri (Desforges ve diğerleri 2014'den değiştirilerek alınmıştır)

2.4. Mikro Plastiklerin Sınıflandırılması

MP'ler oluştuğu kaynak ve üretildiği malzemelere bağlı olarak fiziksel durumlarına göre sınıflandırılabilir (Yurtsever, 2015). Çizelge 2.1'de MP'lerin bu kategorilere göre sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 2.1. MP'lerin sınıflandırılmasında kullanılan kategoriler (Yurtsever 2015)

KATEGORİ	MİKROPLASTİKLER
Kaynakları	Tüketici ürün parçaları ve ham endüstriyel paletler
Tipi	Plastik parçacık, pelet lif, film, köpük, granüler
Şekilleri	Pelet şekli; silindir, disk, düz, oval, küre Parça şekli; yuvarlak, köşeli, Genel şekil: şekilsiz, uzun, parçalanmış, pürüzlü ve kırık kenarlı
Aşınma Durumu	Yeni, bozunmamış, bozunmuş ve çok bozunmuş olanlar, pürüzlü yüzey, pürüzlü parçacıklar, oyuklu, pürüzsüz yüzey,
Renk	Şeffaf, beyaz, krem, kırmızı, turuncu, mavi, siyah, gri, kahverengi, yeşil, pembe, ten rengi ve sarı
Tür	PET, PA, PE, PP, PS, PVC vb.

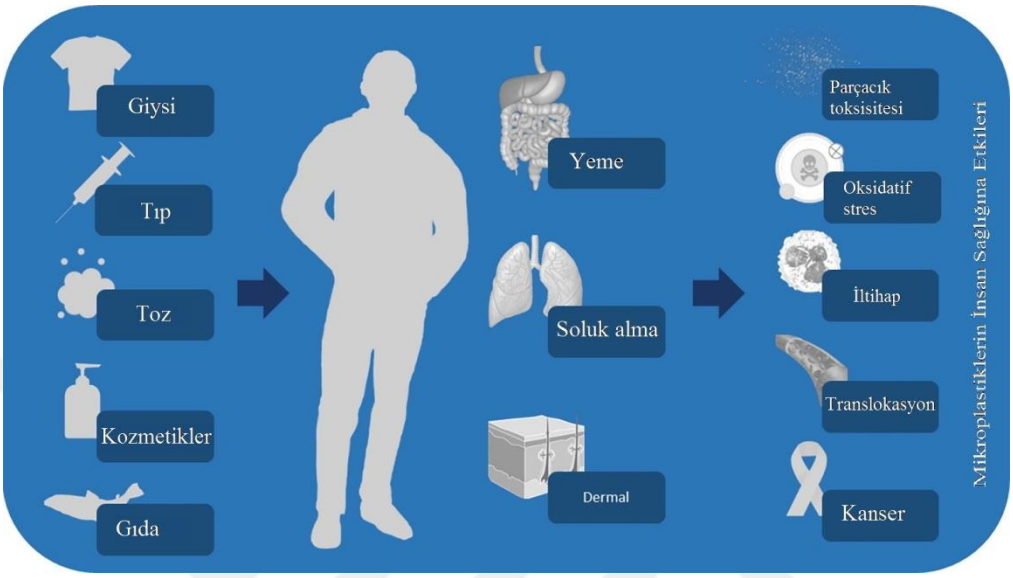
MP'ler tipleri açısından fragmanlar (sert, pürüzlü kenarlı parçacıklar), mikro peletler (sert, yuvarlak parçacıklar), lifler (lifli veya ince tek biçimli plastik iplikler), filmler (ince, 2 boyutlu plastik filmler) ve köpük (strafor tipi malzeme) olmak üzere beş gruba ayrılmıştır (Anderson ve diğerleri, 2017).

Çeşitli şekil ve boyutlarda bir tür polimer karışımı olan MP'ler farklı fizikokimyasal ve toksisite özelliklere sahiptir (Liu ve diğerleri, 2021).

2.5. Mikro Plastiklerin İnsan Yaşamına Etkisi

Çevresel ortamlar ve tüketici ürünleri de dahil olmak üzere her ortamda bulunan ve yaygın kirletici olan MP'lere maruz kalmak canlılar için kaçınılmaz bir sondur. MP içeren gıdaların vücuda alımı, hava ortamındaki MP'lerin solunması, kozmetik, tekstil

ve tozda bulunan MP'lerin deri teması ile insanlar maruz kalmaktadır (Prata, da Costa, Lopes, Duarte ve Rocha-Santos, 2020). Şekil 2.6'da verilen görselde insanların MP'lere maruz kalma yolları ve insan sağlığına etkileri gösterilmiştir.



Şekil 2.6. MP'lere maruz kalma yolları ve insan sağlığına etkileri (Prata ve diğerleri 2020'den değiştirilerek alınmıştır)

MP'ler küçük hacimli olmalarından dolayı mikroorganizmalar tarafından kolayca yutulabilir. MP yüzeyi toksik ve zararlı kireticileri absorbe etmesinden dolayı MP'lerin yutulması sonucunda besin alım bozukluğu, enflamatuar raksiyon, stres reaksiyonu, üreme bozukluğu ve ölümde dahil olmak üzere çeşitli etkilere sebep olabilir (Yuan ve diğerleri, 2022).

Plastiklerin; plastikleştirici, boya ve alev geciktirici gibi kirleticileri deniz ortamına taşıdığı, deniz faunası tarafından yutulduğunda besin zinciri ile insanlara kadar ulaşabilen organik kirleticileri de absorbe edebilir (Edo, Gonzalez-Pleiter, Leganes, Fernandez-Pinas ve Rosal, 2020).

2.6. Mikro Plastiklerin Çevresel Ortamlarda Dağılımı

MP'lerin çevresel ortamlardaki akıbetini ve bozulmalarını belirleyen faktörler boyutu ve şeklidir (Golwala, Zhan, İskender ve Smith, 2021). MP'lerin düşük yoğunlukları ve

yüksek dayanıklı olması sebebiyle rüzgar, gelgit, okyanus akıntısı ve tsunami tarafından taşınıp yayılabilir (Wei ve diğerleri, 2021).

Sucul ortamda MP'lerin dağılımını yoğunlukları belirler. Yoğunlukları sudan küçük olan PP ve PE yüzen MP iken, sudan daha yoğun olan PS, PET ve PA batma eğilimindedir (Guo ve Wang, 2019). Su ortamında MP'lerin dağılımı suyun yoğunluğu, dalga hareketi ve akıntıya bağlı olarak değişir. MP'lerin geniş bir alana yayılmasında yüzey suyu hareketleri neden olur (Wright, Thompson ve Galloway, 2013).

MP'ler deniz (Eriksen ve diğerleri, 2014), sediment (Zhang ve diğerleri, 2020) , göl (Eriksen ve diğerleri, 2013), nehir (Moore, Lattin ve Zellers, 2011) gibi çeşitli çevresel ortamlarda yapılan çalışmalar ile tespit edilmiştir.

Jiang ve diğerleri (2019) Tibet Platosu'nda yer alan beş farklı nehirde altı örnekleme noktasından aldıkları yüzey suyu ve sediment örneklerinde MP'leri incelemişlerdir. Çalışmada PET, PE, PP, PS ve PA olmak üzere beş tür MP tespit etmişlerdir. Sedimanlarda PET, yüzey suyu örneğinde ise PE'nin en baskın MP türü olduğu bildirilmiştir.

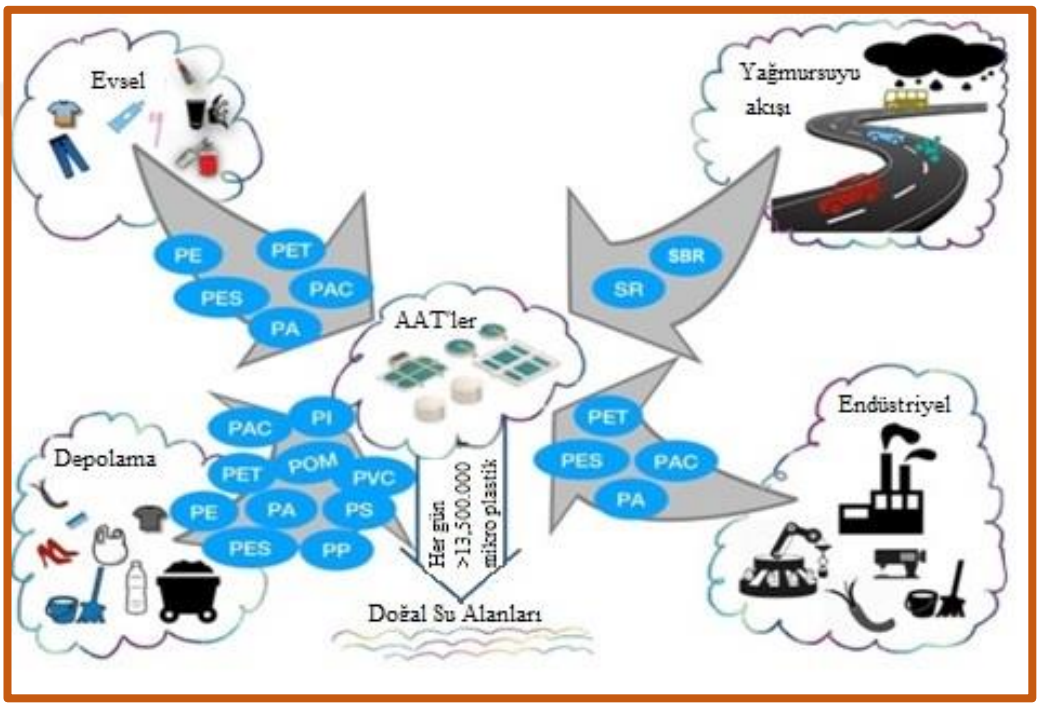
2.7. Atıksu Arıtma Tesislerinde Mikro Plastikler

MP'lerin çok küçük boyutta, biyolojik ayrışmaya dirençli ve genel itibariyle yüzme eğilimde olması gibi faktörlerden dolayı AAT'lerde yeterince giderilmemektedir. Buna ilaveten mevcut AAT'ler MP giderim odaklı tasarlanmadıkları için çıkış sularında MP gözlenebilmektedir.

MP'lerin çevreye salınmasında kaynak görevi gören AAT'lerde MP'lerin oluşumu ve akıbeti MP kirliliği kontrolünde önemlidir. (Sun ve diğerleri, 2019). Amerika Birleşik Devletleri (Mason ve diğerleri, 2016), Hollanda (Leslie, Brandsma, van Velzen ve Vethaak, 2017), Almanya (Mintenig, Int-Veen, Loder, Primpke ve Gerdts, 2017), İngiltere (Murphy, Ewins, Carbonnier ve Quinn, 2016), İsveç (Magnusson ve Noren, 2014), Avusturya (Ziajahromi, Neale, Rintoul ve Leusch, 2017) ve Türkiye (Akarsu,

Kumbur, Gokdag, Kıdeys ve Sanchez-Vidal, 2020) gibi ülkelerde yapılan çalışmalarda AAT'lerin çıkışında MP varlığı rapor edilmiştir.

Kullanılan tahliye sistemine göre AAT'lere gelen debi farklılık gösterir. Ayrık sistemlerin kullanıldığı bölgelerde evsel ve endüstriyel atık su ve depolama sızıntı suları ile, birleşik sistemlerin kullanıldığı yerlerde de bunlara ek olarak yağmur suyu akışı ile kirleticiler AAT'lere ulaşmaktadır.(Şekil 2.7) (Ngo, Pramanik, Shah ve Roychand, 2019). MP'lerin şekli AAT'lerde giderim verimini etkiler (Liu ve diğerleri, 2021).



Şekil 2.7. AAT'lerde tespit edilen MP'lerin kaynakları (Ngo ve diğerleri 2019)

AAT'lerin akışında yaygın olarak olarak; PES (~%28 -89), PE (~%4-51), PET (~%4-35) ve PA (~%3-30) polimerleri bulunmaktadır. PES, PET ve PA sentetik giysi kaynaklı olurken, PE gıda ambalajlarında ve su şişeleri dahil olmak üzere vücut ve yüz temizleme ürünleri gibi kişisel bakım ürünlerinde kullanılmaktadır (Sun ve diğerleri, 2019). Arıtma tesislerinde tespit edilen polimerlerin kullanım alanları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. AAT'lerde bulunan plastik türlerinin kullanıldığı alanlar ve yoğunlukları

Plastik Türü	**Kullanıldığı Alan**	**Yoğunluk (g/cm^3)**
PE	Kozmetik, su şişeleri, ambalajlar	0,89-0,98
PS	Yemek kapları, CD- DVD kutusu, bina yalıtımı, küvet ve duş kabinleri	1,04-1,1
PVC	Elektrik tesisatı ve kablolar, su borusu, kan alma torbası, tıbbi hortumlar	1,16-1,58
PP	kapak, yoğurt ve tek kullanımlık kaplar, ambalajlama	0,83-0,92
PET	Sentetik elyaf.	0,96-1,45
PA	Isıya dayanıklı kıyafetler, elektronik kablolar, ısı yalıtım levhası	-

Losyon, sabun, yüz ve vücut peelingi, diş macunu gibi bir çok kişisel bakım ve kozmetik ürününde mikro plastik parçacıklar (MPP) bulunur ve günlük hayatta yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım sonunda evsel atıksularla birlikte AAT'lere ulaşırlar (Carr, Liu ve Tesoro, 2016)

Ziajahromi ve diğerleri (2017) yaptıkları çalışma ile PET liflerini ve PE parçacıklarını, farklı AAT atıksularında en bol bulunan MP'ler olarak bildirmişlerdir. Çalışma ile birincil, ikincil ve üçüncül arıtma sonucu MP giderim verimini ağırlığa göre % 92-99 olarak bildirmişlerdir. Kıyafetlerden elde edilen sentetik liflerin kişisel bakım için mikro boncuklara oranla daha fazla dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Mintenig ve diğerleri (2017) Almanya'daki 12 farklı AAT deşarj noktalarından aldığı örneklerde MP analizi gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonucunda 10 tesiste 500 μm den büyük MP parçacıklarının bulunduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca ölçümler neticesinde 7 farklı plastik türüne rastlanılmış olup en çok PE plastik türünün salındığı tespit edilmiştir.

Gies ve diğerleri (2018) yaptıkları çalışmada 17 atıksu ve 12 çamur numunesi analizi sonucunda MP'leri görsel olarak köpük, granül, tabaka, lif, parça ve topak olmak üzere 6 sınıfta kategorize etmişlerdir.

Yapılan çalışmalar ile AAT'lerde atıksudan MP giderim verimi >%90 olarak rapor edilmiştir (Carr ve diğerleri, 2016; Michielssen, ve Michielssen, Ni ve Duhaime, 2016; Murphy ve diğerleri, 2016; Ziajahromi ve diğerleri, 2017). Farklı AAT'lerde uygulanan arıtma seviyesine bağlı olarak elde edilen MP giderim verimleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Uygulanan arıtma teknolojilerine bağlı olarak farklı atıksu arıtma tesislerinde MP giderim verimleri (Bozdaş, Üstün ve Aygün 2020)

Yapıldığı Yer	Arıtma İşlemleri	MP konsantrasyonu	MP Giderim Verimi %	Referans
Helsinki, Finlandiya	Üçüncül, DF10	0,3 parçacık/L	40,0	(Talvitie ve diğ., 2017)
Çin	Birincil ve ikincil	28,4 parçacık/L	64,4	(Liu ve diğ., 2019)
Sidney, Avustralya	Birincil	1,5 parçacık/L		(Ziajahromi ve diğ., 2017)
Sidney, Avustralya	Birincil ve ikincil	0,48 parçacık/L	66	(Ziajahromi ve diğ., 2017)
Türkiye (Seyhan)	İkincil	7,02 parçacık/L	73	(Gündoğdu ve diğ., 2018)

Çizelge 2.3. Uygulanan arıtma teknolojilerine bağlı olarak farklı atıksu arıtma tesislerinde MP giderim verimleri (devam) (Bozdaş, Üstün ve Aygün 2020)

Türkiye (Yüreğir)	Ikincil	4,11 parçacık/L	79	(Gündoğdu ve diğ., 2018)
İtalya	Birincil, ikincil ve üçüncül	0,4 parçacık/L	84	(Magni ve diğ., 2019)
Ispanya (Cartagena)	Birincil	0,25 parçacık/L	90,3	(Bayo ve diğ., 2020)
Çin (Xiamen)	Birincil ve ikincil	0,59 parçacık/L	90,5	(Long ve diğ., 2019)
Sidney, Avustralya	Birincil, ikincil, üçüncül ve RO	0,28 parçacık/L RO : 0,21 parçacık/L	92-99	(Ziajahromi ve diğ., 2017)
Madrid, Ispanya	Birincil arıtma ve A^2O	10,7 parçacık/L	93,7	(Edo ve diğ., 2020)
Hameenlinna, Güney Finlandiya	Üçüncül, DAF	0,1 parçacık/L	95	(Talvitie ve diğ., 2017)
Çin (Beijing)	Birincil, ikincil	0,59 parçacık/L	95	(Yang ve diğ., 2019)
Turku, Güney Finlandiya	Üçüncül, RSF	0,02 parçacık/L	97,1	(Talvitie ve diğ., 2017)
Çin (Changzhu)	Birincil, ikincil	9,04 parçacık/L	97,2	(Xu ve diğ., 2019)
Danimarka	-	54 parçacık/L	98,3	(Simon ve diğ., 2018)

Membran biyoreaktör yötemi AAT'lerde MP giderim verimini arttırır (Nakao, Akita, Ozaki, Masumoto ve Okuda, 2021).

2.8. Arıtma Çamurunda Mikro Plastikler

Arıtma tesislerinde giderilen MP'lerin önemli bir kısmı arıtma çamurunda tutulur (Çizelge 2.4) (Golwala ve diğerleri, 2021). AAT'lerde üretilen çamur yüksek besin içeriğine sahip olmasından dolayı tarım arazilerinde gübre veya toprak değiştirici gibi uygulamalarda kullanılır, AAT'lerde üretilen çamurların tarımsal uygulamalarda kullanılması çevresel ortamlara MP girdisinin önemli bir kaynağıdır ve son yıllarda artan bir ilgi konusu olmuştur (Alavian Petroody, Hashemi ve van Gestel, 2021).

Yağış, sulama ve rüzgar tarım arazilerine gübre olarak uygulanan çamurdaki MP'lerin sucul ortamlara girmesinde rol oynayabilir (Alavian Petroody, Hashemi ve van Gestel, 2021).

Çizelge 2.4. Tespit edilen arıtma çamurlarında ki MP konsantrasyonları

Yer	Örneklem	Konsantrasyon (partikül/kg)	Referans
Çin	Sulu çamur	1565-56386[a]	(Li ve diğ., 2018)
İrlanda	Sulu çamur	4196-15385[a]	(Mahon ve diğ., 2017)
Almanya	Sulu çamur	1000-24000[a]	(Lassen ve diğ., 2015)
Hollanda	Sulu çamur	660-760	(Leslie ve diğ., 2017)
Finlandiya	Aktif çamur Sindirilmiş çamur MBR çamuru	23000[a] 170900[a] 27300[a]	(Lares ve diğ., 2018)
İskoçya	Kumtaşı Gres yağlama Çamur keki	1440 7868 1200	(Murphy ve diğ., 2016)

[1] a: konsantrasyon çamurun kuru ağırlığına göre verilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma Özlüce/Bursa'da 40°14'14.4"K 28°55'07.7"D konumlarında bulunan kentsel atıksu arıtma tesisi olan Batı Atıksu Arıtma Tesisi'nden (AAT) farklı dönemlerde farklı ünitelerden alınan atıksu ve çamur örneklemeleri ile yapılmıştır.

5 aşamalı (Phoredox) Bardenfo prosesine uygun olarak inşa edilen ve 650 000 eşdeğer nüfusa hizmet eden Batı AAT'nin tasarım debisi 87 500 m^3/gün olup, numune alımlarının yapıldığı 4 ayda (Ağustos-Kasım 2021) 61 800 m^3/gün olarak ölçülmüştür. Günlük ortalama çamur keki üretimi 81,5 ton/gün olup, çamur kekleri elektrik üretimi için Çamur Yakma Tesisine gönderilmektedir. Tesis genel görünümü Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Batı atıksu arıtma tesisi genel görünümü

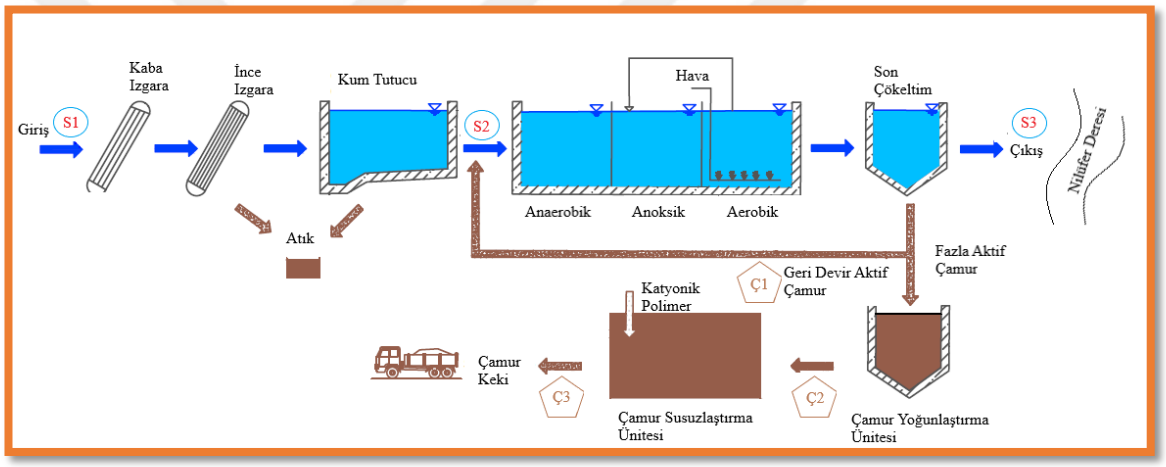
3.2. Örneklemelerin Alınması

MP'lerin türleri ve akıbetinin tespit edilmesi amacıyla Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ)'ne bağlı Batı AAT'nden atıksu ve çamur örneklemeleri alınmıştır. Örneklemeler, 2021 yılı Ağustos ve Kasım ayları arasında her ay bir numune olacak şekilde, sabah 09:30 - 10:00 saatleri arasında alınmıştır. Çizelge 3.1'de örneklemelerin alındığı günler ve o günlere ait hava durumu verilmiştir.

Çizelge 3.1. Örneklemelerin alındığı tarih ve hava durumu

Örnek No	Tarih	Hava Durumu	Saat
1	19.08.2021	Güneşli	09:30- 10:00
2	09.09.2021	Parçalı Bulutlu	09:30- 10:00
3	19.10.2021	Güneşli	09:30- 10:00
4	16.11.2021	Güneşli	09:30- 10:00

Batı AAT'den su ve çamur örneklemlerinin alındığı noktalar arıtma tesisi akım şeması üzerinde işaretlenerek Şekil 3.2'deki gibi gösterilmiştir. Bu noktalardan alınan örneklemlerin hacimleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Arıtma tesisinden örneklem alınan noktalar

Çizelge 3.2. Örnekleme noktaları ve alınan hacimler

NO	NOKTA	ÖRNEKLEM YERLERİ	HACİM veya AĞIRLIK	NUMUNE TÜRÜ
1	S1	AAT Girişi	1L	Kompozit
2	S2	Kum Tutucu Çıkış	2 L	Grab
3	S3	Son Çökeltim Çıkış	8 L	Kompozit
4	Ç1	Geri Devir Hattı	5g	Grab
5	Ç2	Çamur Yoğunlaştırma Tankı	10g	Grab
6	Ç3	Çıkış Atık Çamur	10g	Grab

Yüksek organik madde içeriğine sahip olmasından dolayı giriş atıksuyun büyük hacimlerde toplanması eleklerin tıkanmasına neden olabilmektedir. Düşük organik madde içeriğine sahip olduğu ve daha az MP içerdiğinden büyük hacimlerde toplanmaktadır (Gatidou, Arvaniti ve Stasinakis, 2019).

3.2.1. Atıksu numunelerinin alınması

Giriş ve çıkış atıksudan örneklemeler "Endress + Hauser" marka autosampler kullanılarak 24 saatlik kompozit numune şeklinde alınmıştır (Şekil 3.3). Kum tutucu atıksu numuneleri ise grab (anlık) olarak alınmıştır (Murphy ve diğerleri, 2016). Anlık alınan geri devir aktif çamur örnekleri su numuneleri gibi işlenmiştir.



Şekil 3.3. AAT'den numune alma işlemleri

Numune alımında plastik bulaşmasını önlemek amacıyla cam şişeler kullanılmıştır (Edo ve diğerleri, 2020) ve şişe ağzı ile plastik kapak arasına alüminyum folyo konulmuştur (Bakir ve diğerleri, 2020). Deneysel işlemler başlayana kadar alınan atıksu ve çamur numuneleri 4°C'de numune saklama dolabında muhafaza edilmiş olup (Raju ve diğerleri, 2020) depolamadan 24 saat içinde analiz edilmiştir (Kankanige ve Babel, 2021).

3.2.2. Çamur örneklemelerinin alınması

Çamur numunelerinde önce yoğunluk ayrımı ardından organik ayırma işlemi uygulanmıştır. Yoğunluk ayırma sıvısı olarak doymuş NaCl çözeltisi kullanılmıştır (Li ve diğerleri, 2018).

Çamur yoğunlaştırma ve çıkış çamurundan toplanan 500'er g çamurlar 60 °C'de (Ziajahromi, Neale, Telles Silveira, Chua ve Leusch, 2021) sabit tartıma gelene kadar 7-10 gün etüvde kurutulmuştur.

Metal spatül ile hassas terazide 10 g tartılarak cam beherlere konulan kuru numunelerin üzerine 1:2 (V/V) oranında doymuş NaCl çözeltisi (1,2 g/cm^3) ilave edildikten doymuş 100 mL NaCl çözeltisi konulmuştur. Metal spatül ile 5 dakika karıştırılmıştır. Ardından karışımın üzeri alüminyum folyo kapatılarak 1 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından numuneler ayırma hunisine aktarılarak gece boyunca çökmeye bırakılmıştır. Bu işlem 3 kez tekrarlanmıştır (Xu ve diğerleri, 2021). Şekil 3.4'de çamur numunelerinde yoğunluk ayırma işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çamur numunelerinde yoğunluk ayırma işlemi

Kanalizasyon çamuruna benzer çamurlardan çok sayıda örnekleme yapılacaksa MP ayrımında, doymuş tuz çözeltisinin kullanımı Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (MSFD) tarafından tavsiye edilmektedir. Ayrıca ucuz, kolay ulaşılabilir ve çevre dostu

olmasının yanında yüksek yoğunluklu MP'lerin ekstraksiyon performansına rağmen polivinilklorür (1,3–1,7 g/cm^3) veya politetrafloroetilen (2,1–2,2 g/cm^3) gibi sentetik polimerlerden yoğunluğu düşüktür (Crawford ve Quinn, 2017).

Organik giderme işlemi, atıksu numunelerine uygulanılan yöntem ile aynıdır. Toplanan üst duru faz suları çelik elek setinden geçirilmiştir. Elek üzerinde kalıntılar minimum miktarda saf su ile durulanarak cam beherlere konmuştur. Beherler 60 °C'de sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Etüvde kuruyan numuneler ıslak peroksidasyon işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.5). Elekten geçirilen çamur üst duru faz numunelerinin organik içeriği fazla olduğu düşünüldüğünden üst duru faz numunelerinin üzerine atıksu numunelerinin 2 katı kadar % 30 saflıkta H_2O_2 (40 mL) ve 0,05 M fenton rektifi (40 mL) eklenerek 60° C'de 30 dakika organik giderimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Çamur numunelerinde ıslak peroksidasyon işlemi

Daha sonra numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Soğuduktan sonra 0,45 µm gözenek çaplı cam elyaf filtrelerden geçirilmiştir.

Çamur numunelerinin filtrasyon işlemleri sırasında artık tuzları yıkamak için 500 mL saf su kullanılmıştır (Jiang ve diğerleri, 2020).

3.3. Elek Analizi

Çalışmada 5 mm, 3 mm, 1 mm, 0.5 mm ve 0.3 mm gözenekli paslanmaz çelik elekler kullanılmıştır (Zhao, Zhu ve Li, 2016). Cam şişe ile toplanan atıksu ve çamur numunelerinin üst duru suları Şekil 3.6'da gösterilen çelik elek setinden (5mm-3mm-1mm-0,5mm-0,3mm) geçilmiştir.

Eleklerde kalan katılar, 3 kez minimum miktarda (Xu ve diğerleri, 2021) saf su kullanılarak 5-3 mm, 3-1 mm, 1- 500 µm ve 500-300 µm büyüklük boyutlarına göre cam beherde toplanmıştır. Beherlere aktarılan kalıntılar, etüvde 60°C'de tamamen kuruncaya kadar en az 40 saat bekletilmiştir (Lares, Ncibi ve Sillanpaa, 2018).



Şekil 3.6. Çelek elek seti

3.4. Organik Ayrımı

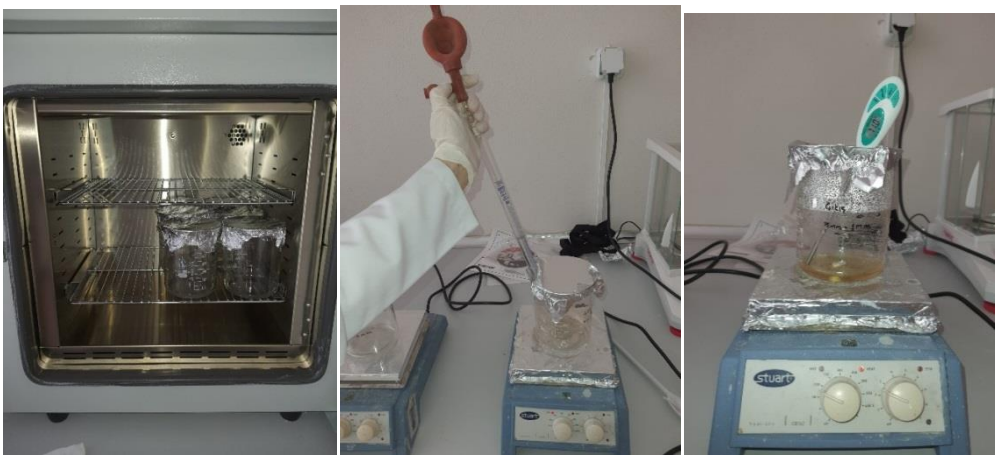
AAT numunelerindeki organik maddeleri uzaklaştırmak için kullanımı yaygın olan yöntem ıslak peroksidasyondur (WPO). Organik maddeleri oksitlemek için genellikle H_2O_2, NaClO ve Fenton reaktiflerini içeren kimyasallar kullanılmaktadır (Karami ve

diğerleri, 2017; Masura, Baker, Foster ve Arthur, 2015). Bu çalışmada ise H_2O_2 ve Fe(II) fenton reaktifi kullanılmıştır (Anderson ve diğerleri, 2017; Raju ve diğerleri, 2020; Tadsuwan ve Babel, 2021).

Organik madde ayrımında hidrojen peroksit (H_2O_2, %30-35) kullanımı, NaOH ve HCl kullanımına göre daha verimli ve polimerlerin bozunmasına daha az neden olmaktadır (Qiu, Tan, Wang, Peng ve Li, 2016; Zhao ve diğerleri, 2017). Dolayısıyla ıslak peroksidasyon yöntemi olarak tercih edilmiştir.

Etüvde kuruyan atıksu numunelerinin üzerine organik madde giderimi için % 30 saflıkta H_2O_2 (20 mL) ve 0,05 M fenton rektifi (20 mL) kullanılarak organik madde giderimi geçekleştirilmiştir (Hossain, Banik, Nur ve Rahman, 2021; Jiang ve diğerleri, 2020; Lares ve diğerleri, 2018). Elekten geçirilen çamur üst duru faz numunelerinin organik içeriği fazla olduğu düşünüldüğünden üst duru faz numunelerinin üzerine atıksu numunelerinin 2 katı kadar % 30 saflıkta H_2O_2 (40 mL) ve 0,05 M fenton rektifi (40 mL) eklenerek organik giderimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra beherlerin üzerine gaz çıkışına izin verebilmek için iğne ile delik açılmış alüminyum folyo ile kapatılmıştır (Kankanige ve Babel, 2021).

Manyetik karıştırıcı kullanılarak 60° C'de 30 dakika işleme tabi tutulmuş olup (Ben-David ve diğerleri, 2021; Zhang ve diğerleri, 2021) ardından oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Etüvde kurutma ve organik madde giderim işlemi

Soğuyan son çökeltim çıkış atıksu numuneleri, direkt olarak vakum filtrasyonu kullanılarak 0,45 µm gözenek (Bayo, Olmos ve Lopez-Castellanos, 2020; Bayo, Olmos ve Lopez-Castellanos, 2021) çapına sahip (Whatman GF/F) cam elyaf filtreler (Liu ve diğerleri, 2019) kullanılarak filtre edilmiştir.

3.5. İnorganik Ayrımı

Giriş ve kum tutucudan alınan atıksu numunelerinde WPO (ıslak peroksit oksidasyonu) sonrasında çözeltide yoğunluk farkı oluşturarak plastikleri daha rahat ayırmak için her 20 mL numuneye 6 g tuz (NaCl) ilave edilmiştir ve çözelti ayırma hunisine aktarılarak bir gece boyunca çökmeye bırakılmıştır (Ben-David ve diğerleri, 2021; Coppock, Cole, Lindeque, Queiros ve Galloay, 2017; Masura, Baker, Foster ve Arthur, 2015). Ardından vakum filtrasyonu kullanılarak 0,45 µm gözenek çapına sahip (Whatman GF/F) cam elyaf filtreler kullanılarak filtre edilmiştir. Her bir filtre kağıdı, ince uçlu metal cımbız yardımıyla önceden sterilize edilmiş petri kaplarına yerleştirilerek kapakları kapatılmıştır. Oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır (Xu, Jian, Xue, Hou ve Wang, 2019). Filtreler daha sonra mikroskopta incelenmiştir.

3.6. Şekil, Boyut ve Renk Analizi

Genellikle MP'lerin fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu sırasıyla mikroskopta görsel inceleme ve ardından FTIR analizi yapılarak belirlenmektedir (Dyachenko, Mitchell ve Arsem, 2017; Magnusson ve Noren, 2014; Talvitie, Mikola, Koistinen ve Setala, 2017; Ziajahromi ve diğerleri, 2017).

Görsel incelemede en çok stereo mikroskop kullanılmaktadır ve MP'ler şekil, renk gibi fiziksel özelliklerine göre doğrudan gözleme dayalı analiz edilmektedir (Klein ve diğerleri, 2018; Önder ve diğerleri, 2020).

Tanımlama, önceki çalışmalardan elde edilen sınıflandırma standartlarına dayandırılmıştır. Mikroplastikler şekil yönünden; lif (fiber), parça (düzensiz şekilli parçacıklar), film ve granüler (boncuk, pellet) olmak üzere 4 ana grupta sınıflandırılmıştır (Wei ve diğerleri, 2020; Zhang ve diğerleri, 2017). İnce ve uzun şekle

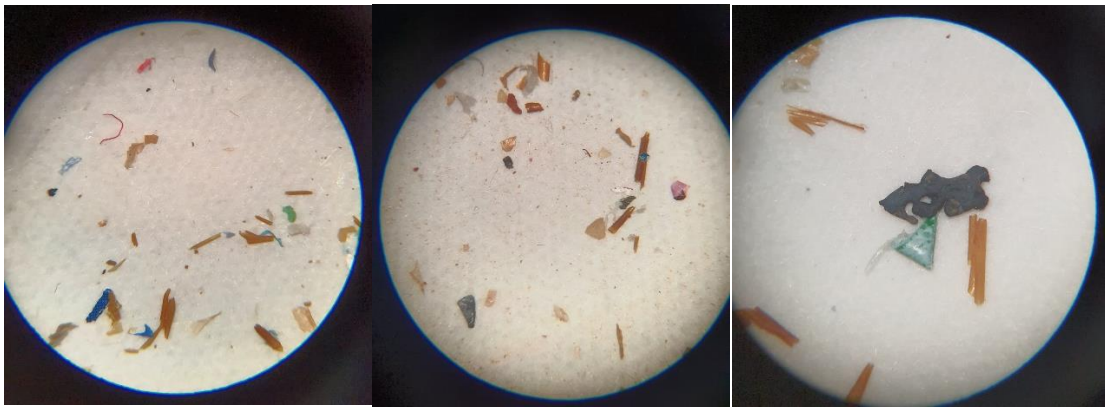
sahip olanlara lif; kırık ve düzensiz şekilde olup plastik nesneden kopanlara parçacık; ince tabakaya sahip olan parçacıklara film; küresel ve silindirik şekle sahip olanlara granül (pellet) olarak tanımlanmaktadır (Jiang, 2018). Mikroplastikler boyut yönünden 4 ana gruba ayrılmıştır. Bunlar; 5-3 mm, 3-1 mm, 1-0,5 mm ve 0,5-0,3 mm'dir.

Renk yönünden ise 9 gruba ayrılmıştır. Bunlar; siyah, mavi, sarı, pembe, mor, kırmızı, yeşil, beyaz ve şeffaftır (Xu ve ark., 2021).

Kurutulan tüm filtre kağıtları Şekil 3.8.'de görülen LEİCA EZ4E marka stereo mikroskop ((Hidalgo-Ruz, Gutow, Thompson ve Thiel, 2012; Hossain ve diğerleri, 2021) kullanılarak x8- x35 büyütme aralığında gözle sayılarak şekil, boyut ve renk analizi yapılmıştır. (Şekil 3.8). 5 MP HD djital kamera kullanılarak mikroplastiklerin fotoğrafları çekilmiş ve Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.8. MP sınıflandırılmasında kullanılan LEİCA EZ4E marka stereo mikroskop



Şekil 3.9. Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin mikroskobik görüntüleri

3.7. Tür Analizi

FTIR, mikroplastiklerin tür analizi için kullanılan en sık kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu yöntem ile MP parçacıkları kızılötesi radyasyona maruz bırakılmaktadır ve karakteristik tepe noktalarının atomlar arasındaki belirli kimyasal bağlara karşılık geldiği bir spektrum elde edilmektedir. Elde edilen spektrum, referans spektrum kitaplığı ile karşılaştırılarak numune bileşimini tanımlamak için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu referans spektrumları her zaman çok temiz ve ideal örnekleri temsil etmektedir (Murphy ve diğerleri, 2016).

Her örneklemede ortalama 10-20 parçacık rastgele seçilmiştir (Akarsu ve diğerleri, 2020; Lares ve diğerleri, 2018). Parçacıklar metal cımbız kullanılarak Perkin Elmer cihazının elmas gözüne yerleştirilmiştir ve üzerindeki kol aşağı doğru sıkıştırılarak ekranda spektrum okunmuştur (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. ATR-FTIR spektroskopi ile polimer türlerinin belirlenmesi

Rastgele seçilen parçacıkların analizi, Zayıflatılmış Toplam Yansıma Fourier Dönüşümü Kızılötesi (ATR-FTIR) spektroskopi (Perkin Elmer) cihazı kullanılarak 4000 - 400 cm^{-1} dalga sayısı aralığında 4 cm^{-1} çözünürlük ve ortalama 4-16 tarama yapılarak tür belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Spektrumlar, ilgili polimer türünü belirlerken Perkin Elmer yazılım (Perkin Elmer Spectrum sürüm 10.5.1) kütüphanesi kullanılmıştır (Jung ve diğerleri, 2018; Raju ve diğerleri, 2020).

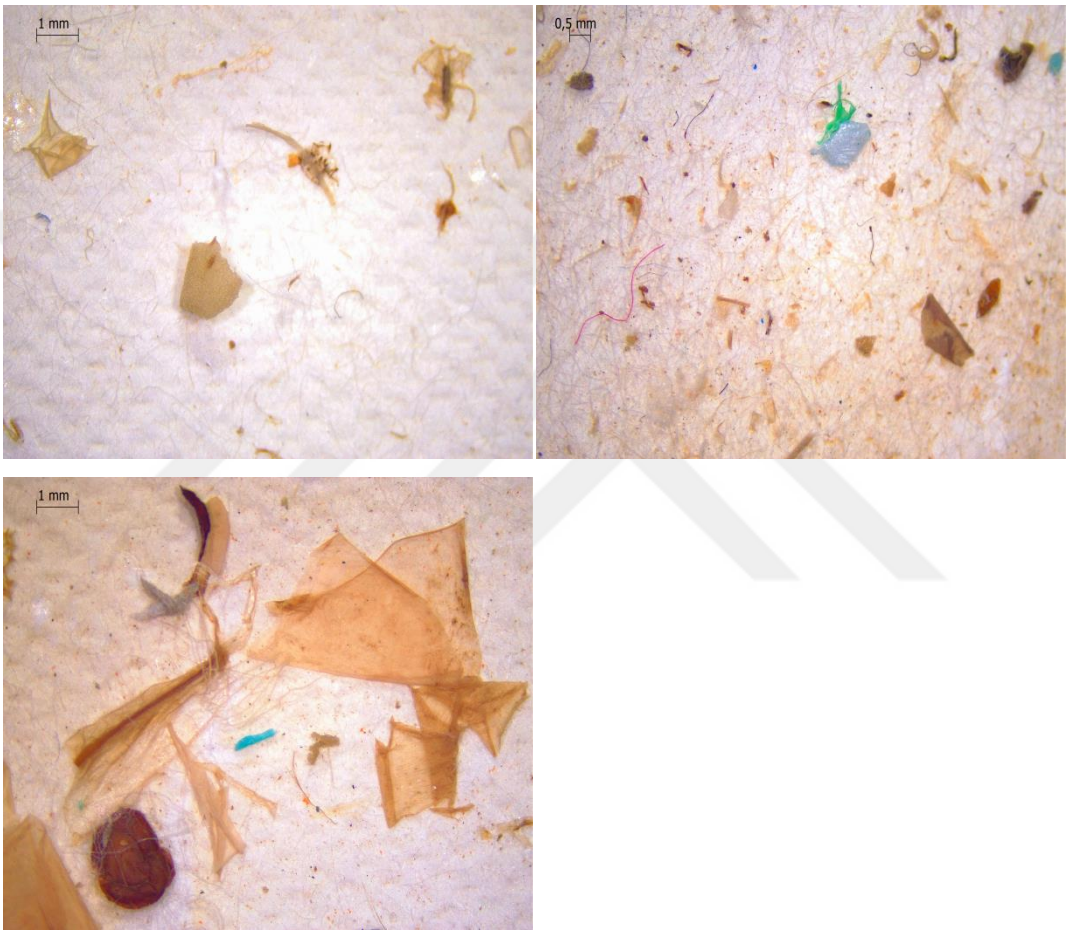
3.8. Kalite ve Kontrol

Örnekleme ve laboratuvar işlemi sırasında olası bulaşmaları önlemek amacıyla bir takım önlemeler alınmıştır. Çevresel ortamda mevcut olan ve bulaşmaya neden olabilecek MP'lerin, deney sonuçlarını etkilememesi için; plastik yerine cam ve metal ekipman tercih edilmiştir, % 100 pamuklu laboratuvar önlüğü kullanılmış, filtrelenmiş numuneler

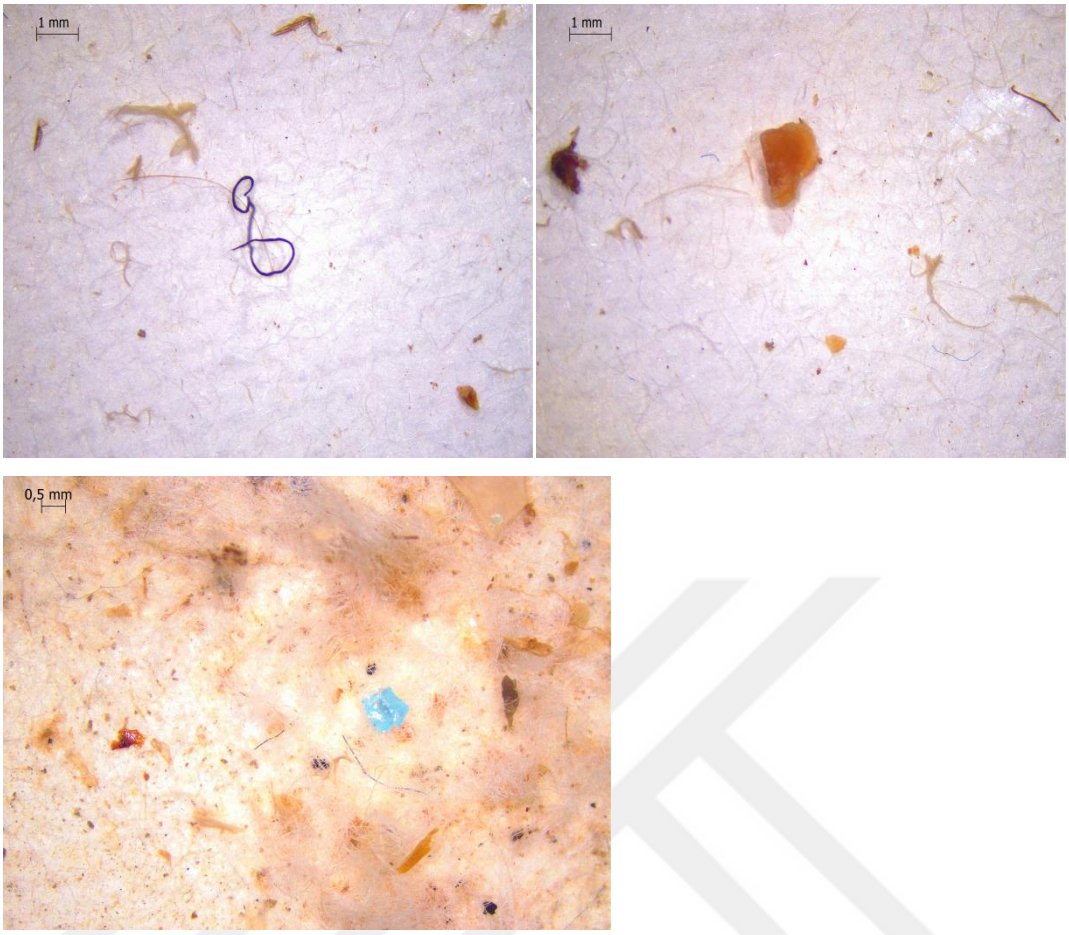
kapalı cam petri kaplarında saklanmıştır, numune alma veya numune işleme sırasında sentetik tekstiller tercih edilmemiştir, deney sırasında ağız ve burnu kapatan maske ve pudrasız latex eldiven kullanılmıştır, tüm cam eşyalar deneyden sonra önce çeşme suyu ile daha sonra 2 kez saf su kullanılarak yıkanmıştır (Bayo ve diğerleri, 2021; Kankanige ve Babel, 2021; Prata, da Costa, Lopes, Duarte ve Rocha-Santos, 2019).

4. BULGULAR

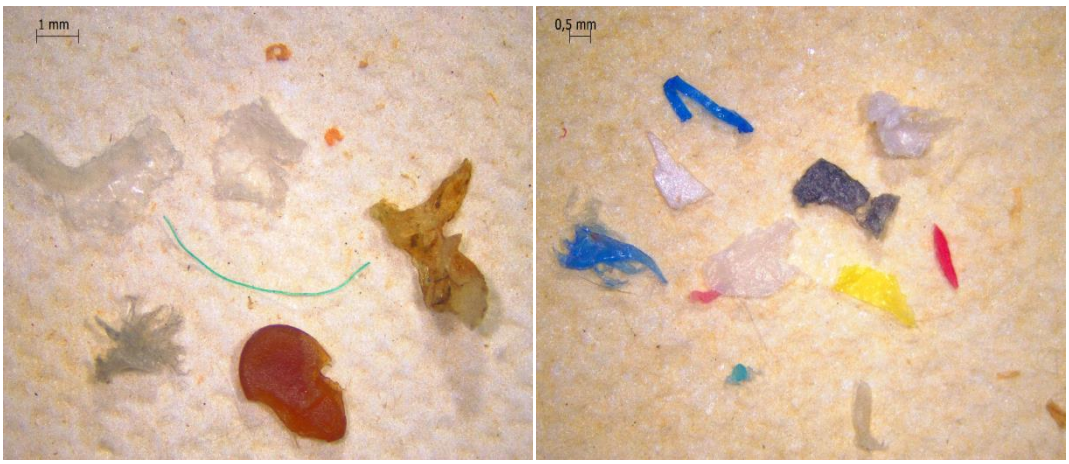
Batı AAT ünitelerinden (giriş, kum tutucu çıkışı, son çökeltim çıkışı, geri devir hattı, çamur younlaştırma tankı ve çıkış atık çamur) alınan numunelerde yapılan analizler sonucunda tespit edilen MP'lerin ölçekli mikroskop görüntüleri Şekil 4.1 - 4.6 arasında verilmiştir.



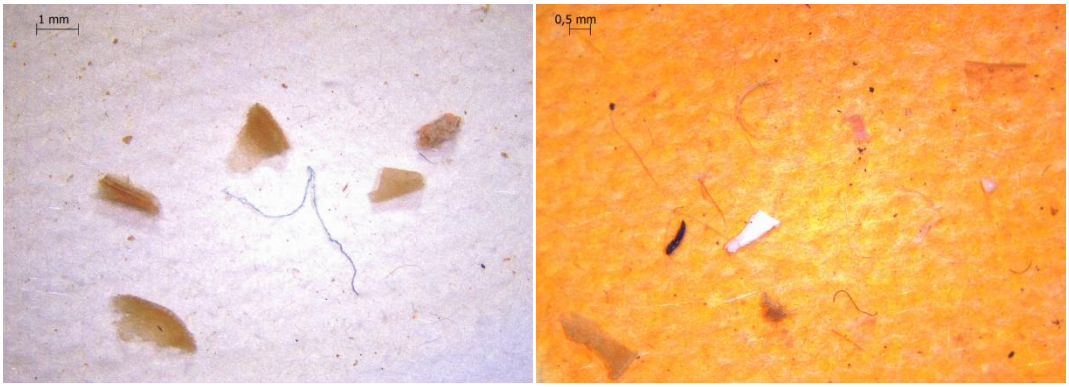
Şekil 4.1. Giriş atıksuyunda tespit edilen MP'lerin görüntüleri



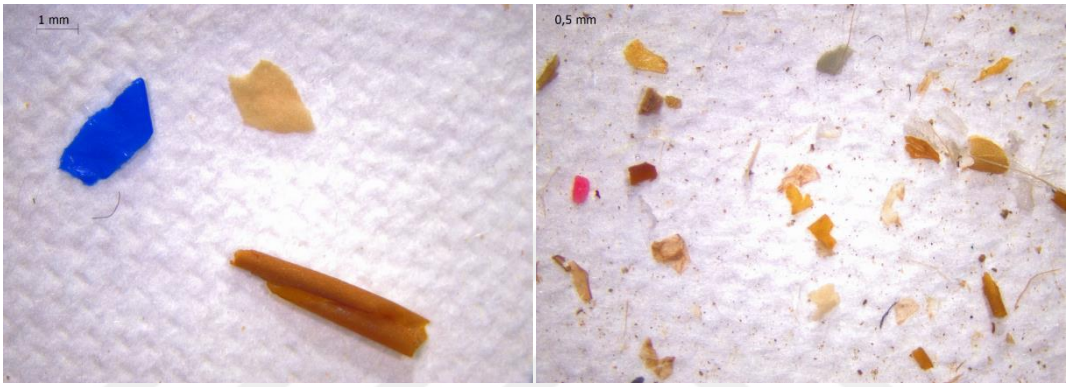
Şekil 4.2. Kum tutucu çıkış atıksuyunda tespit edilen MP'lerin görüntüleri



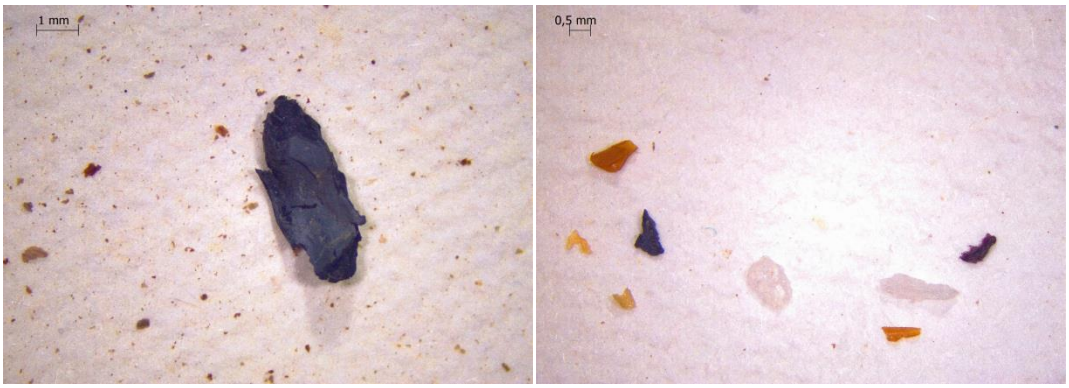
Şekil 4.3. Son çökeltim çıkış atıksuyunda tespit edilen MP'lerin görüntüleri



Şekil 4.4. Geri devir çamurunda tespit edilen MP'lerin görüntüleri



Şekil 4.5. Çamur yoğunlaştırmada tespit edilen MP'lerin görüntüleri

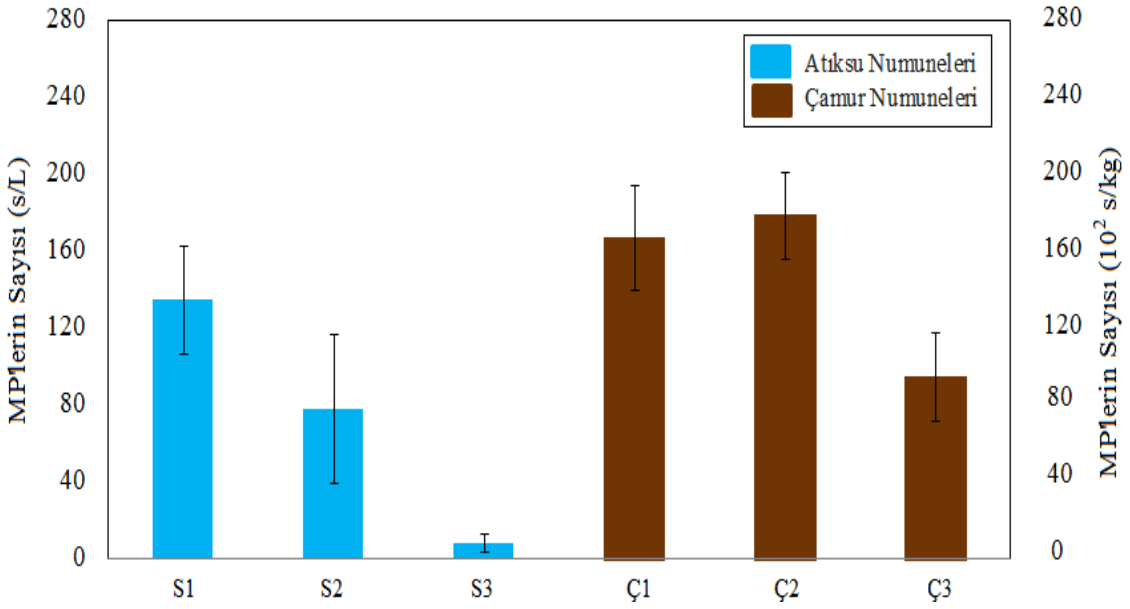


Şekil 4.6. Çamur kekte tespit edilen MP'lerin görüntüleri

4.1. AAT'de Mikro Plastiklerin Sayısı

AAT'nin hizmet verdiği nüfus, bulunduğu bölgedeki endüstriyel faaliyetler ve kentleşme düzeyi gibi faktörler giriş atıksuyundaki MP miktarını etkiler (Raju ve diğerleri, 2020).

AAT ünitelerinden alınan atıksu ve çamur numuneleri ile yapılan analizler sonucunda MP'lerin miktarı ünite bazında tespit edilmiştir. MP'lerin miktarları atıksu numunelerinde (S1, S2, S3) sırası ile 135,3± 28,0 s/L, 78,3±38,6 s/L ve 8,5 ± 4,7 s/L iken çamur numunelerinde (Ç1, Ç2, Ç3) sırası ile 167±27,2 $\times 10^2$ s/kg, 179±22,5$\times 10^2$ s/kg ve 95±22,8 x10^2 s/kg'dır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin sayısı ve standart sapmaları

Bu sonuçlara bakıldığında giriş (S1): 135,3± 28,0 s/L ve çıkış (S2): 8,5 ± 4,7 s/L olduğu baz alınarak arıtma tesisinde giderim verimi;

$$\%\text{verim} = \frac{\text{giriş}-\text{çıkış}}{\text{giriş}} x100 \quad (4.1)$$

$$= \frac{135,3-8,5}{135,3} x100 = \%93,7$$

olarak hesaplanmış ve giderilen bu MP'ler çamura aktarılmıştır.

AAT'lerde yüksek MP giderim veriminden dolayı önemli miktarlarda MP kanalizasyon çamurunda tutulur. Kanalizasyon çamurundaki MP'ler AAT arıtma proseslerine ve hizmet verdiği bölgenin eşdeğer nüfusuna bağlı olarak çeşitlilik gösterir (Lofty, Muhaenimana, Wilson ve Ouro, 2022).

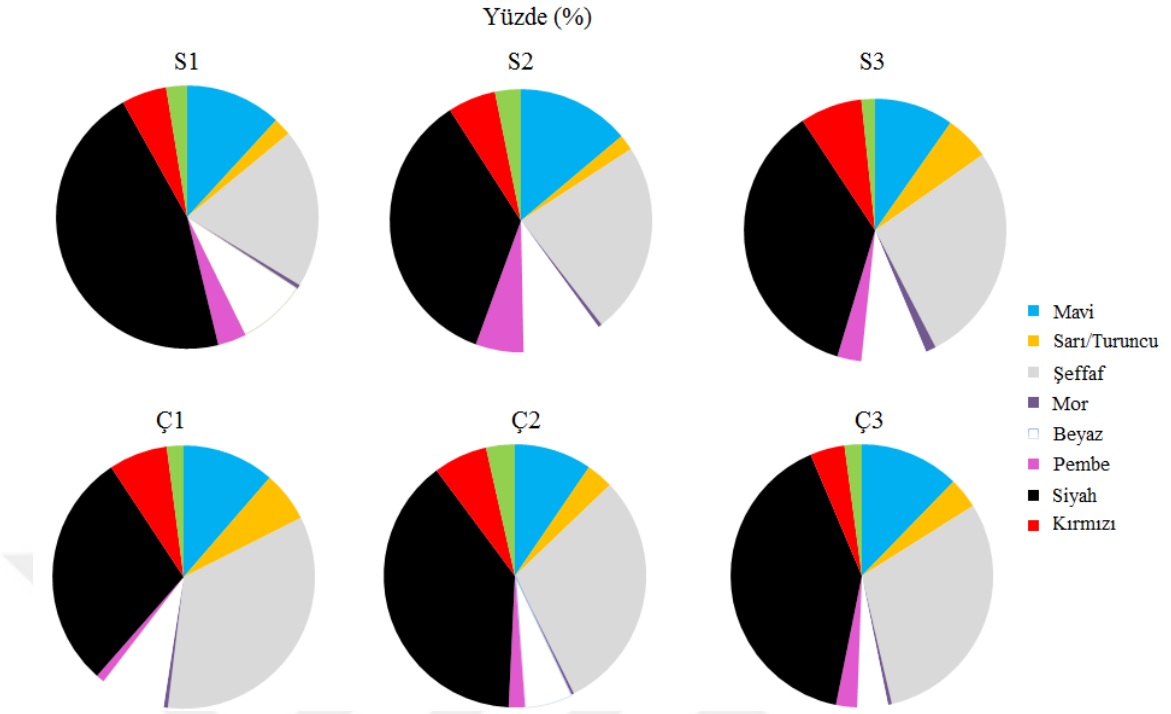
AAT'deki MP'lerin ünite bazında giderim oranları S1-S2; %41,3 , S2-S3; %89,1 olarak hesaplanmıştır. MP'lerin sudan daha yüksek yoğunluğa sahip olanları kum tutucu ünitesinde fiziksel çöktürme ile giderilebilir (Sun, Dai, Wang, van Loosdrecht ve Ni, 2019; Yang ve diğerleri, 2019). İkincil çöktürme tankında ise MP'ler atıksudaki askıda katı maddelere bağlanır veya aktif çamura sarılarak çökeltilerek uzaklaştırılır (Bretas Alvim, Bes-Pia ve Mendoza-Roca, 2020; Okeke ve diğerleri, 2022). Atıksudaki MP'lerin arıtma ünitelerinde kademeli olarak azalmasında yoğunluk ayırma ve biyo bozunma mekanizmalarının etkili olduğu belirtilmiştir (Enfrin, Dumee ve Lee, 2019).

Çamur yoğunlaştırma tankında çamur katı madde konsantrasyonu artarken, çamur hacmi azalmıştır. Çamur yoğunlaştırıcıdaki MP miktarının çamur kekine oranla bolluğu, geri devir suyu ile önemli miktarlarda MP'nin arıtma sistemine geri döndüğü anlamına gelir. Susuzlaştırılmış çamurun, aerobik çürütme çamurundan %54 daha az MP içerdiği kaydedilmiştir (Alavian Petroody, Hashemi, ve van Gestel, 2021).

4.2. Mikro Plastiklerin Renkleri

Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin renk dağılımları Şekil 4.8'de verilmiştir. Şekilde verilen yüzdesel dağılımlara bakıldığında atıksu ve çamur numunelerinde en baskın MP rengi siyah olup ardından sırasıyla şeffaf, mavi, beyaz ve kırmızı gelmektedir.

Atık su numunelerindeki MP'lerin renk dağılımları; siyah (%35,3-45,6), şeffaf (%19,5-27,1), mavi (%9,7-13,9), beyaz (%8,5-9,7) ve kırmızı (%5,5-7,6) iken çamur numunelerinde MP dağılımı ise; çoğu şeffaf siyah (%29,0-40,4), ardından şeffaf (29,7-%34,3), mavi (%9,5-12,2), beyaz (%5,7-8,0) ve kırmızı (%6,6-7,2) olarak bulunmuştur.



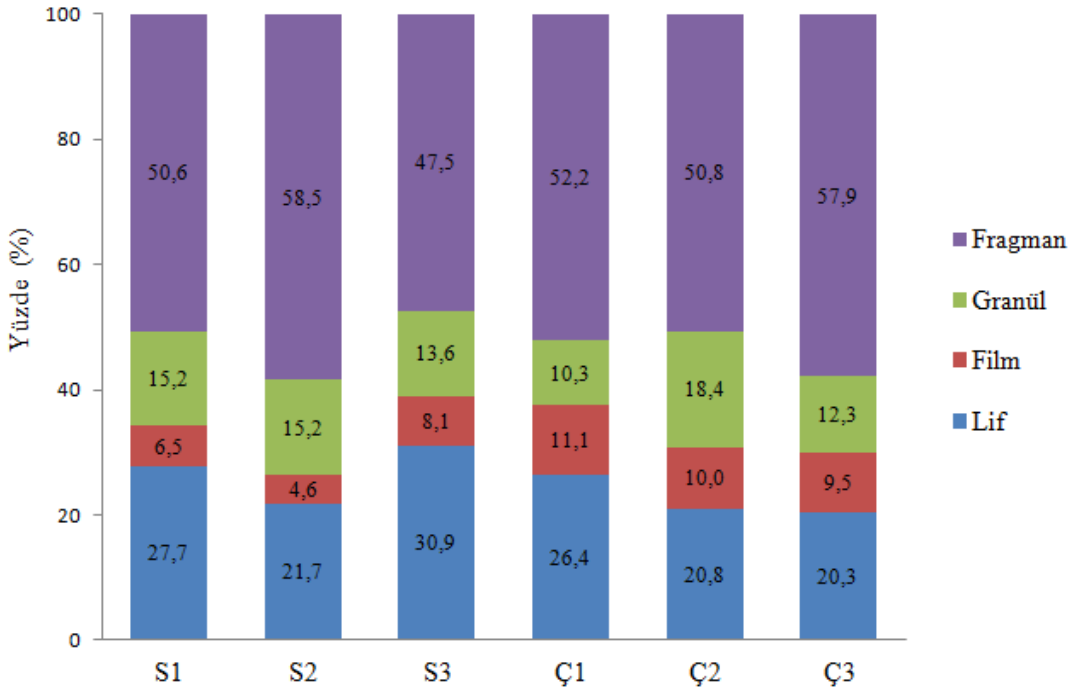
Şekil 4.8. Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin renk dağılımı

Şekilde gösterilen diğer renkler ise %5'in altında tespit edildi. Atıksu ve çamur numunelerinden alınan tüm örneklemelerde siyah, şeffaf, beyaz ve mavi rengin baskın olduğu tespit edildi. Bu çalışmada tespit edilen baskın renkler yapılan birçok çalışma ile benzerlik göstermektedir. Marmara Denizi'ne deşarj yapan bir AAT'den alınan atıksu ve çamur örneklerinde yapılan çalışmada siyah ve mavi renklerin baskın olduğunu bulunmuştur (Vardar, Onay, Demirel ve Kıdeys, 2021). Çin'in en büyük AAT'sinde siyah ve şeffaf renklerin baskın olduğu bildirilmiştir (Yang ve diğerleri, 2019) .

Yapılan bu çalışmada siyah ve mavinin baskın renk olmasının kaynağı olarak bölgedeki tekstil fabrikaları açıklanabilir. Yapılan bir çalışmada tekstil atıksularında bulunan MP'lerde siyah ve mavi rengin baskın renk olduğu bildirilmiştir (Stanton, Johnson, Nathanail, MacNaughtan ve Gomes, 2019). Tekstil sanayisi bölgesinin bulunduğu alanlardan alınan sediman örnekleri ile yapılan çalışmada MP'lerin %60'ının siyah, mavi ve beyaz renklerden oluştuğu bildirilmiştir (Deng ve diğerleri, 2020) .

4.3. Mikro Plastiklerin Şekilleri

Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin şekil dağılımları Şekil 4.9'da verilmiştir. AAT ünitelerinde önemli bir oranı parça ve lif oluştururken, granül ve film nispeten daha küçük bir orana sahiptir.



Şekil 4.9. Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin şekil dağılımı

Girişte (S1) fragman, lif, granül ve filmin yüzdeleri sırasıyla %50,6, %27,7, %15,2 ve %6,5'tir. Fragman ve granül oranları; girişte %50,6 - %15,2 iken, çıkışta sırasıyla %47,5 ve %13,6'ya düşer. Buna karşılık, liflerin ve filmlerin yüzdesi, girişte sırasıyla %27.7- %6,5 iken, çıkışta sırasıyla %30,9 ve %8,1'e yükselir. Atık su örneklerinde en sık gözlenen MP şekilleri parça (%58,5) ve lif (%27,7) iken, bunu granüler (%15,2) ve film (%8,1) izlemiştir.

Liflerin oranı girişte %27,7 iken çıkışta %30,9'a yükselmiştir. Liflerin küçük boyutlu olması ve morfolojisi nedeniyle arıtma üniteleri aşamalarından geçerek çevreye salınabilecekleri bildirilmiştir (Talvitie, Mikola, Koistinen ve Setala, 2017).

Çamur numunelerinde; şekil dağılımı fragman (%57,9), lif (%26,4), granüler (%18,4) ve film (%11,1) olarak gözlendi. Yapılan çalışmalarda bildirilen verilere benzer şekilde parçalar su ve çamur numunelerinde baskın MP şekli olarak bildirilmiştir (Lv ve diğerleri, 2019; Zhang, Liu, Xie, Zhong, ve Gao,2021).

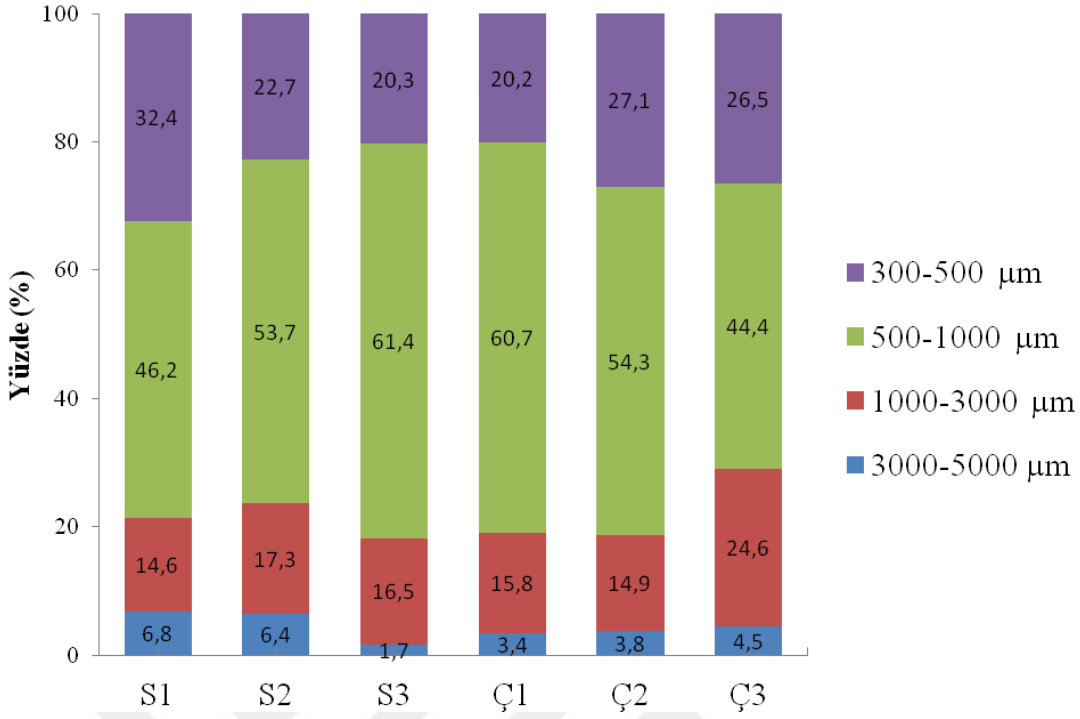
Bu çalışmadaki tüm numunelerde iki baskın tür parça ve film olarak bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada atık sudaki baskın MP türleri olarak parça %67,3 ve film %18,5 oranında bulunmuştur (Murphy, Ewins, Carbonnier, ve Quinn, 2016).

Genel olarak, farklı şekillerdeki MP'lerin AAT üniteleri arasındaki dağılımları benzer olup, önemli farklılıklar yoktur. Çamur üniteleri arasındaki şekil dağılımlarındaki önemsiz fark, çamur stabilizasyonunun belirli şekillerin çıkarılması ya da MP'lerin parçalanması üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı bildirilmiştir (Cheng ve diğerleri, 2021).

4.4. Mikro Plastiklerin Boyutları

Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP'lerin boyut dağılımları Şekil 4.10. 'da verilmiştir. Tüm atıksu numunelerinde ortak MP boyutu olan 500-1000 µm ve 300-500 µm boyutundaki MP'lerin yüzdeleri sırasıyla %46,2–%32,4 (S1), %53,7– %22,7 (S2), %29,9–45,3 (S3) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, S1 numunesinde %20 civarında daha büyük MP'ler (500-1000 µm) tespit edildi.

Atıksuda farklı boyutlarda MP'ler tespit edildi (Şekil 4.10.). İkincil çökeltme tankının ve MP'lerin miktarı arıtmadan sonra azaldı. Yapılan bir çalışmada atıksu numunelerinde ki baskın boyut aralığının 500-1000 µm, çamur numunelerinde ise 1000-2000 µm ve ardından 500-1000 µm olduğu bulunmuştur (Vardar, Onay, Demirel ve Kıdeys, 2021). Daha büyük MP'ler (>3000 µm) çamur numunelerinde artarken (Ç1'de %3,4'ten Ç3'te %4,5'e), atık su arıtma üniteleri boyunca azalır (S1'de %6,8'den S3'te %3,4'e). Yang ve diğerleri (2021) arıtma sırasında büyük MP'lerin azaldığını bildirmiştir.



Şekil 4.10. Atıksu ve çamur numunelerinde MP'lerin boyutları

AAT üniteleri sırasında, büyük MP parçacıkların aşınma ve parçalanma gibi faktörlerle daha küçük parçacıklar haline gelir (Liu, Yuan, Di, Li, ve Wang, 2019) ve bu nedenle küçük MP parçacıkları AAT atık suyunda yüksek oranda bulunabilir (Jiang ve diğerleri, 2020).

Izgara ve kum tutucu ünitelerinde MP giderimi etkin seviyede olmadığından dolayı S1 ve S2 numunelerinde boyut dağılım yüzdeleri birbirine yakındır. Yapılan bir çalışmada daha büyük boyutlu partiküllerin tankların dibine yerleşme eğilimindeyken, daha küçük boyutlu partiküllerin sıvı fraksiyonda asılı kalabileceğini tahmin edilmiştir (Murphy, Ewins, Carbonnier ve Quinn, 2016).

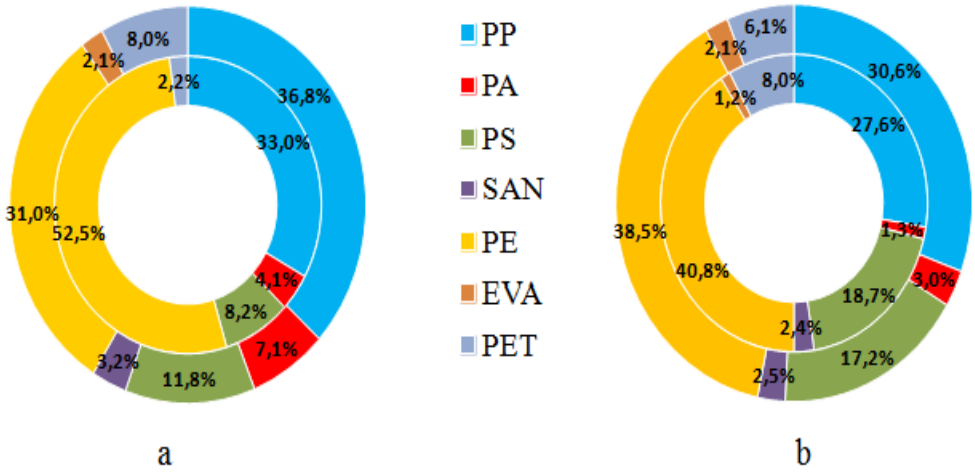
Geri devir çamuru, çamur yoğunlaştırıcı ve filtre kekinde daha küçük partikül boyutlu, özellikle 500-1000 µm ve 300-500 µm boyutunda MP'ler tespit edildi. Tespit edilen MP'lerin sırasıyla oranları %60,7-20,2 (Ç1), %54,3-%27,1 (Ç2), ve %44,44–26,48 (Ç3)'dür.

Jiang ve diğerleri (2020) yaptıkları çalışmada atık su ve çamur numunelerinde 500-1000 µm boyutunda MP'lerin yaygın olduğunu ve atıksuda küçük boyutlu MP'lerin giderim oranının düşük olduğunu bulmuşlardır.

4.5. Mikro Plastiklerin Türleri

Çalışma kapsamında atıksu numunelerinde 365 ve çamur numunelerinde 426 olmak üzere toplamda 791 partikül tespit edilmiştir. Tespit edilen partiküllerin 325'i (atıksu numunelerinde 146, çamur numunelerinde 179) ATR-FTIR kullanılarak plastik olduğu doğrulanmıştır. MP'lerin 7 plastik türü için tespit oranı %41 olarak bulunmuştur. PE, PP, PS, PET, PA, Etilen vinil asetat (EVA) ve Stiren akrilonitril (SAN) tespit edilen 7 MP türüdür. Geriye kalan mikro partiküllerin çoğu; kalsiyum stearat ve gliserin, oleik asit, monooleat, selüloz asetat, akrilik, lesitin, selüloz, ağaç yongaları, hayvan kürkü, silikon, lateks, diş macunu kalıntıları, kozmetik hammaddeleri ve silikatları içerir.

AAT'de tespit edilen MP türleri ve arıtmadaki dağılımları Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Atıksu ve çamur numunelerinde tespit edilen MP türleri a) atıksu numuneleri (iç halka S1, dış halka S3) b) çamur numuneleri (iç halka Ç2, dış halka Ç3)

Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi atıksu numunelerinde (a); girişte PP (%36,8), PE (%31,0), PS (%11,8), PET (%8,0), PA (%7,1) , çıkış suyunda PE (%33,0), PP (%52,5), PS (%8,2), PA (%4,1) ve PET (%2,2) gözlenen yaygın MP türleridir. SAN ve EVA gibi diğer MP'ler küçük oranlarda tüm numunelerde gözlenebilir.

AAT'den alınan tüm numunelerde en yaygın polimer türleri PE, PP, PS ve PET olarak bulundu. Küresel ölçekte en çok üretilen 5 plastik türünden 4'ünün tüm numunelerde tespiti, plastik malzeme kullanımı ile uyumludur (Bond, Ferrandiz-Mas, Felipe-Sotelo, ve van Sebille, 2018; Geyer, Jambeck, ve Law, 2017). AAT giriş ve çıkış suyunda en yaygın türlerin PP ve PE olduğu belirlenmiştir (Long ve diğerleri, 2019; Magni ve diğerleri, 2019). PE, PP ve PS türlerini içeren malzemeler diş macunu, kozmetik ürünler, su şişeleri, gıda ambalaj poşetleri ve giysilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu türlerin baskınlığı, AAT'ye giren atıkların çoğunun evsel atık sulardan kaynaklandığını da göstermektedir (Carr, Liu, ve Tesoro,2016).

Çamur numunelerinde (Şekil 4.11 b) gözlenen MP türleri; çamur yoğunlaştırıcıda PE (%38,5), PP (%30,6), PS (%17,2), PET (%6,1), çamur kekinde ise PE (%40,8), PP (%27,6), PS (%18,7) ve PET (%8,0) dağılımları gözlenmiştir. Numunelerde çok az oranda PA, SAN ve EVA tespit edilebilmiştir.

Çamur numunelerindeki MP'lerin polimer bileşimi, giriş suyununkine benzerdi. Tüm numunelerde PP ve PE baskın tür olarak belirlendi. Su ve çamurdaki yükselme veya batma hızında plastiğin yoğunluğu önemli bir rol oynar (Ballent, Pando, Purser, Juliano ve Thomsen, 2013).

MP'lerin giderilmesi türün yoğunluğuna bağlıdır. Atıksudan daha yoğun olan MP'ler kolaylıkla fiziksel çökeltim ile atıksudan giderilir ve giderilen MP çamurda birikir.

4.6. Çevresel Ortamlara Salınan Mikro Plastik Miktarı

AAT'lerde MP'lerin giderim verimlerinin yüksek olmasına rağmen, arıtılmış atık su akış hızlarının yüksek değerleri nedeniyle önemli miktarlarda MP'nin su ortamlarına salınmasını engelleyemez.

AAT'nin ortalama debisi (61 800 m^3/gün) ve çıkış suyundan gelen ortalama MP miktarı 8,45 s/L dikkate alındığında, sucul ortamlara günde ortalama 522 210 000 MP salınmaktadır. Çalışma alanında arıtılmış atıksuyun sulama amaçlı kullanılması ve havza çıkışından denize deşarj edilmesi, sucul/karasal ortamların MP ile kirlenmesine neden olmaktadır. AAT atıksuyu Nilüfer Deresi'ne bırakılmakta ve havza genelinde

sulama amaçlı kullanılmaktadır. Bu akarsu Marmara Denizi'ne dökülmektedir (Üstün, 2009). Su ortamına salınan MP miktarını azaltmak için AAT'ye gelişmiş arıtma süreçleri entegre edilebilir. Hollanda'da gelişmiş arıtma uygulanmayan ve gelişmiş arıtma uygulanmış AAT'ler yapılan bir çalışmada MP giderim verimleri sırasıyla %88 ve %97 olarak rapor edilmiştir (Leslie, Brandsma, van Velzen ve Vethaak, 2017).

Çamur kekindeki MP'lerin bolluğu 9,5±2,3 s/g, AAT'nin çamur bertaraf miktarı 81,5 ton/gün ve çamurda yıllık olarak biriken MP miktarı $2,8\times10^{11}$ MP olarak hesaplanmıştır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bursa ilinde kentsel AAT'den 4 ay boyunca alınan atıksu ve çamur numunelerinde MP'lerin bolluğu, özellikleri ve giderim verimi araştırıldı. AAT'nin MP giderme verimi %93,7 olmasına rağmen, her gün yüksek hacimlerde arıtılmış atıksu akış hızları nedeniyle su ortamlarına yaklaşık 522 210 000 MP salınmaktadır. Çamur kekindeki MP'lerin bolluğu 9,5±2,3 s/g, AAT'nin çamur bertaraf miktarı 81,5 ton/gün ve günde çamurda biriken MP miktarı 774 250 000 MP olarak hesaplanmıştır. Farklı arıtma tesislerinde yapılan çalışamalar ve sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. AAT'ler de rapor edilen MP bolluğu, giderimi ve salınımı

Ülke	AAT Kapasitesi (m^3/gün)	Hizmet Verilen Nüfus	Elek Boyutu (µm)	Arıtma Seviyesi	Giriş Kons. (s/L)	Çıkış Kons. (s/L)	Giderim (%)	MP Salınımı (s/gün)	Çamur Kons. (s/kg - s/L)	Ref.
Çin	1.0×10^6	2.4×10^6	5000, 50	S/T	12.03 (± 1.29)	0.59 (± 0.22)	>95	0.59 (± 0.22) x 10^9	N/A	(Yang ve diğerleri, 2019)
İtalya	4.0×10^5	1.2×10^6	5000, 2000, 63	S/T	2.5 (± 0.3)	0.4 (± 0.1)	84	1.6×10^6	RAS:113 (± 57) × 10^5 n/kg	(Magni ve diğerleri, 2019).
İspanya	1.62×10^4	7.041×10^4	0.45	T	3.78 (±0.48)	1.38 (± 0.48)	64.26	1.6×10^7	N/A	(Bayo ve diğerleri, 2021).
Türkiye	6.18×10^4	6.5×10^5	5000, 3000, 1000, 500, 300	S	135.3 (±28.0)	8.5 (±4.7)	93.7	5.22×10^5	SFC: 9.55 × 10^3 n/kg	Bu çalışma

Note: N/A- Mevcut Değil, S:İkincil, T:Üçüncül, DS:Dry seasons, SFC:Çamur Filtre Keki, RAS:Geri Aktif Çamur Devri

Arıtma çamurlarının yakma tesisinde bertaraf edilmesinden dolayı çevresel ortamlara çamur kaynaklı MP girdisi olmamaktadır. Atıksu ve çamur numunelerinde fragman 1000 - 500 µm'de en büyük bolluğa sahip birincil şekildi. Atıksu ve çamurda tespit edilen MP'lerde siyah rengi en büyük oranı oluştururken, PE ve PP tespit edilen ana türlerdir.

AAT'ler çevreye salınan MP miktarlarının azaltılmasında önemli rol oynarlar. Fakat yüksek arıtılmış atıksu debileri ile sucul/karasal ortamlara ve tarım arazilerine arıtma çamurunun gübre olarak uygulanmasında salınan çok sayıda MP vardır.

MP'ler, dünya çapında artan plastik tüketimi ve bilinçsiz kullanım nedeniyle insan ve ekosistem sağlığı için bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu yüzden, su/karasal ekosistemlere salınan MP miktarını azaltmak için gelişmiş arıtma süreçlerinin AAT'lere entegre edilmesi ve etkili çamur bertaraf yönetimi uygulamalarının (örn. yakma ve piroliz) kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Akarsu, C., Kumbur, H., Gokdag, K., Kideys, A. E., ve Sanchez-Vidal, A. (2020). Microplastics composition and load from three wastewater treatment plants discharging into Mersin Bay, north eastern Mediterranean Sea. *Mar Pollut Bull*, *150*, 110776.

Alavian Petroody, S. S., Hashemi, S. H., ve van Gestel, C. A. M. (2021). Transport and accumulation of microplastics through wastewater treatment sludge processes. *Chemosphere*, *278*, 130471.

Anderson, P. J., Warrack, S., Langen, V., Challis, J. K., Hanson, M. L., ve Rennie, M. D. (2017). Microplastic contamination in Lake Winnipeg, Canada. *Environ Pollut*, *225*, 223-231.

Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review [Review]. *Mar Pollut Bull*, *119*(1), 12-22.

Arı, M., ve Öğüt, S. (2021). Mikroplastikler ve Çevresel Etkileri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, *9,*: 864-877.

Aslan, R. (2018). Mikroplastikler: Hayatı kuşatan yeni tehlike. *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi Ayrıntı*, *6*, 61-67.

Bakir, A., Desender, M., Wilkinson, T., Van Hoytema, N., Amos, R., Airahui, S., Graham, J., ve Maes, T. (2020). Occurrence and abundance of meso and microplastics in sediment, surface waters, and marine biota from the South Pacific region. *Mar Pollut Bull*, *160*, 111572.

Ballent, A., Pando, S., Purser, A., Juliano, M.F. ve Thomsen, L. (2013). Modelled transport of benthic marine microplastic pollution in the Nazaré Canyon. *Biogeosciences 10*, 7957–7970.

Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., ve Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments [Review]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, *364*(1526), 1985-1998.

Bayo, J. Olmos, S., ve López-Castellanos, J. (2021). Assessment of microplastics in a municipal wastewater treatment plant with tertiary treatment: Removal efficiencies and loading per day into the environment. *Water*, *13*(1339).

Bayo, J., Olmos, S., ve Lopez-Castellanos, J. (2020). Microplastics in an urban wastewater treatment plant: The influence of physicochemical parameters and environmental factors. *Chemosphere*, *238*, 124593.

Ben-David, E. A., Habibi, M,. Haddad, E., Hasanin, M., Angel, D. L., Booth, A. M., ve Sabbah, I. (2021). Microplastic distributions in a domestic wastewater treatment plant: Removal efficiency, seasonal variation and influence of sampling technique. Sci Total Environ, 752, 141880.

Bonfanti, P., Colombo, A., Saibene, M., Motta, G., Saliu, F., Catelani, T., Mehn, D., La Spina, R., Ponti, J., Cella, C., Floris, P., ve Mantecca, P. (2021). Microplastics from miscellaneous plastic wastes: Physico-chemical characterization and impact on fish and amphibian development. *Ecotoxicol Environ Saf, 22,* 112775.

Bond, T., Ferrandiz-Mas, V., Felipe-Sotelo, M., ve van Sebille, E. (2018). The occurrence and degradation of aquatic plastic litter based on polymer physicochemical properties: A review.

Bozdaş, K., Üstün, G. E., ve Aygün, A. (2020). Atıksu arıtma tesislerinde mikro plastikler ve giderim yöntemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25*(3), 1577-1592.

Bretas Alvim, C., Bes-Pia. M. A., ve Mendoza.-Roca. J. A. (2020). Separation and identification of microplastics from primary and secondary effluents and activated sludge from wastewater treatment plants. *Chemical Engineering Journal, 402,*126293.

Carpenter, E. J., ve Smith, K. L., Jr. (1972). Plastics on the Sargasso sea surface. *Science, 175*(4027), 1240-1241.

Carr, S. A., Liu, J., ve Tesoro, A. G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res, 91,* 174-182.

Cheng, Y.L., Kim, J.G., Kim, H. Bin, Choi, J.H., Fai Tsang, Y., ve Baek, K. (2021). Occurrence and removal of microplastics in wastewater treatment plants and drinking water purification facilities: A review. *Chem. Eng. J. 410,* 128381.

Coppock, R. L., Cole, M., Lindeque, P. K., Queiros, A. M., ve Galloway, T. S. (2017). A small-scale, portable method for extracting microplastics from marine sediments. *Environ Pollut, 230,* 829-837.

Crawford, C. B., ve Quinn, B. (2017). *Microplastic Pollutants* (1st edition ed.). Elsevier Limited.

Deng, H., Wei, R., Luo, W., Hu, L., Li, B., Di, Y., ve Shi, H., (2020). Microplastic pollution in water and sediment in a textile industrial area. *Environmental Pollution, 258,* 113658.

Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review [Review]. *Mar Pollut Bull, 44*(9), 842-852.

Desforges, J. P., Galbraith, M., Dangerfield, N., ve Ross, P. S. (2014). Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Mar Pollut Bull, 79*(1-2), 94-99.

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., ve Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment?. *Mar Pollut Bull, 104*(1-2), 290-293.

Dyachenko, A., Mitchell, J., ve Arsem, N. (2017). Extraction and identification of microplastic particles from secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent. *Analytical Methods, 9*(9), 1412-1418.

Edo, C., Gonzalez-Pleiter, M., Leganes, F., Fernandez-Pinas, F., ve Rosal, R. (2020). Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. *Environ Pollut, 259*, 113837.

Enfrin, M., Dumee, L. F., ve Lee, J. (2019). Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes – Origin, impact and potential solutions. *Water Research, 161*, 621-638.

Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., ve Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS One, 9*(12), e111913.

Geyer, R., Jambeck, J.R., ve Law, K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv. 3.*

Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., ve Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Mar Pollut Bull, 77*(1-2), 177-182.

Gatidou, G., Arvaniti, O. S., ve Stasinakis, A. S. (2019). Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants. *J Hazard Mater, 367*, 504-512.

Gies, E. A., LeNoble, J. L., Noel, M., Etemadifar, A., Bishay, F., Hall, E. R., ve Ross, P. S. (2018). Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver. *Canada, Marine Pollutution Bulletin*, 133, 553-561.

Gola, D., Tyagi, P. K., Arya, A., Chauhan, N., Agarwal, M. S. K.,Singh, ve Gola, S. (2021). The impact of microplastics on marine environment: A review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 16*, 100552.

Golwala, H., Zhang, X., Iskander, S. M., ve Smith, A. L. (2021). Solid waste: An overlooked source of microplastics to the environment [Review]. *Sci Total Environ, 769*, 144581.

Guo, X., ve Wang, J. (2019). The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review [Review]. *Mar Pollut Bull, 142*, 1-14.

Gündoğdu, S., Çevik, C., Güzel, E., ve Kilercioğlu, S. (2018). Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. *Environ Monit Assess, 190*(11).

Habib, R. Z. Thiemann, T., ve Kendi, R. A. (2020). Microplastics and Wastewater Treatment Plants—A Review. *Journal of Water Resource and Protection, 12*(01), 35.

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., ve Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification *Environ Sci Technol*, *46*(6), 3060-3075.

Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., ve Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities [Review]. *Sci Total Environ*, *586*, 127-141.

Hossain, M. B., Banik, P., Nur, A. U., ve Rahman, T. (2021). Abundance and characteristics of microplastics in sediments from the world's longest natural beach, Cox's Bazar, Bangladesh. *Mar Pollut Bull*, *163*, 111956.

Jambeck, J. J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., ve Law, K. L. (2015). Marine pollution. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, *347*(6223), 768-771.

Jia-QianJiang. 2018. Occurrence of microplastics and its pollution in the environment: A review. *Sustainable Production and Consumption*, *13*: 16-23.

Jiang, J., Wang, X., Ren, H., Cao, G., Xie, G., Xing, D., ve Liu, B. (2020). Investigation and fate of microplastics in wastewater and sludge filter cake from a wastewater treatment plant in China. *Sci Total Environ*, *746*, 141378.

Jiang C., Yin L., Li Z., Xiaofeng W., Xin L., Hu S., Yang H., Long Y., Deng B., Lingzhi H., ve Liu Y. (2019). Microplastic pollution in the rivers of the Tibet Plateau. *Environmental Pollution*, 249, 91-98.

Jiang, J.-Q. (2018). Occurrence of microplastics and its pollution in the environment: A review. *Sustainable Production and Consumption*, *13*, 16-23.

Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez, C. V., Beers, K. L., Balazs, G. H., Jones, T. T., Work, T. M., Brignac, K. C., Royer, S. J., Hyrenbach, K. D., Jensen, B. A., ve Lynch, J. M. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Mar Pollut Bull*, 127, 704-716.

Kankanige, D., ve Babel, S. (2021). Contamination by ≥6.5 μm-sized microplastics and their removability in a conventional water treatment plant (wtp) in thailand. *Journal of Water Process Engineering*, *40*(101765).

Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Romano, N., Ho, Y., B., ve Salamatinia, B. (2017). A high-performance protocol for extraction of microplastics in fish. *Sci Total Environ*, *578*, 485-494.

Klein, S., Dimzon, I. K., Eubeler, J., ve Knepper, T. P. (2018). *Freshwater Microplastics Emerging Environmental Contaminants?* (M. Wagner S. Lambert, Eds.).

Lares, M., Ncibi, M. C., ve Sillanpaa, M. (2018). Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Res, 133*, 236-246.

Lassen, C., Hansen, S. F., Magnusson, K., Noren, F., Hartmann, N. I. B., Jensen, P. R., Nielsen, T. G. ve Brinch, A. (2015). Microplastics-occurrence, Effects and Sources of Releases to the Environment in Denmark, *Danish Environmental Protection Agency*, 206.

Lee J., Hong S., Song Y.K., Hong S.H., Jang Y.C., Jang M., Heo N.W., Han G.M., Lee M.J., Kang D., ve Shim W.J. (2013). Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. *Mar Pollut Bull*, *77*, 349-354.

Leslie, H. A., Brandsma, S. H., van Velzen. M. J. M., ve 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. *Environ International*, *101*(133-142).

Li, X., Chen, L., Mei, Q., Dong, B., Dai, X., Ding, G., ve Zeng, E. Y. (2018). Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. *Water Res*, *142*, 75-85.

Liu, W., Zhang, J., Liu, H., Guo, X., Zhang, X., Yao, X., Cao, Z., ve Zhang, T. (2021). A review of the removal of microplastics in global wastewater treatment plants: Characteristics and mechanisms. *Environ Int*, *146*, 106277.

Liu, X., Yuan, W., Di, M.,Li, Z., ve 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.

Lofty, J., Muhaenimana, V., Wilson, C.A.M.E., ve Ouro, P. (2022). Microplastics removal from a primary settler tank in a wastewater treatment plant and estimations of contamination onto European agricultural land via sewage sludge recycling. *Environmental Pollution*, *304*, 119198.

Long, Z., Pan, Z., Wang, W., Ren, J., Yu, X., Lin, L., Lin, H., Chen, H., ve Jin, X. (2019). Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China. *Water Res. 155*, 255–265.

Lv, X., Dong, Q., Zuo, Z., Liu, Y., Huang, X., Wu, ve W.-M. (2019). Microplastics in a municipal wastewater treatment plant: Fate, dynamic distribution, removal efficiencies, and control strategies. *J. Clean. Prod. 225*, 579–586.

Magnusson, K., ve Noren, F. (2014). Screening of Microplastic Particles in and Down-stream a Wastewater Treatment Plant. *IVL Swedish Environmental Research Institute*.

Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C. G., Della Torre, C., Parenti, C. C., Gorbi, S. ve Regoli, F. (2019). The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant, *Science of Total Environment,* 652, 602-610.

Mahon, A. M., O'Connell, B., Healy, M. G., O'Connor, I., Officer, R., Nash, R. ve Morrison, L. (2017). Microplastics in Sewage Sludge: Effects of Treatment, *Environmental Science & Technology,* 51(2), 810-818.

Mason, S., A. Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., ve Rogers, D. L. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environ Pollut, 218*(1045- 1054).

Masura, J., Baker, J., Foster, G., ve Arthur, C. (2015). *Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments* Silver Spring.

McCormick, A., Hoellein, T. J., Mason, S. A., Schluep, J., ve Kelly, J. J. (2014). Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environmental Science Technology*, *48*(20), 11863-11871.

Michielssen, M. R., Michielssen, E., Ni, J., ve Duhaime, M. B. (2016). Fate of microplastics and other small anthropogenic litter (SAL) in wastewater treatment plants depends on unit processes employed. *Environmental Science: Water Research & Technology*, *2*(6), 1064-1073.

Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Loder, M. G. J., Primpke, S., ve Gerdts, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Res, 108*(365-372).

Moore, C. J., Lattin, G. L., ve Zellers, A. F. (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Journal of Integrated Coastal Zone Management, 11*(1), 65-73.

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., ve Quinn, B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science & Technology, 50*(11), 5800-5808.

Nakao, S., Akita, K., Ozaki, A., Masumoto, K., ve Okuda, T. (2021). Circulation of fibrous microplastic (microfiber) in sewage and sewage sludge treatment processes. *Sci Total Environ, 795*, 148873.

Ngo, P. L., Pramanik, B. K., Shah, K., ve Roychand, R. (2019). Pathway, classification and removal efficiency of microplastics in wastewater treatment plants [Review]. *Environ Pollut, 255*(Pt 2).

Okeke, E.S., Okoye, C.O., Atakpa, E.O., Ita, R.E., Nyaruaba, R., Mgbechidinma, C.L., ve Akan, O.D. (2022). Microplastics in agroecosystems-impacts on ecosystem functions and food chain. *Resour. Conserv. Recycl. 177,* 105961.

Okoffo, E. D., Tscharke, B. J., O'Brien, J. W., O'Brien, S., Ribeiro, F., Burrows, S., D. Choi, P. M., Wang, X., Mueller, J. F., ve Thomas, K. V. (2020). Release of Plastics to Australian Land from Biosolids End-Use. *Environ Sci Technol*, *54*(23), 15132-15141.

Oliveira M., Almeida M., ve Miguel I. (2019). A micro(nano)plastic boomerang tale: A never ending story?. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 112: 196-200.

Önder, S., Günal, Ç. A., ve Sepici Dinçel, A. (2020). Plastikleri Attığımızda Ne Oluyor? Mikroplastikler. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, *3*(4), 181-186.

Pagev (2021). Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu 2021/9. https://pagev.org/turkiye-plastik-sektor-izleme-raporu-2021-9.

Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., ve Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects [Review]. *Sci Total Environ*, *702*, 134455.

Prata, J. C. da Costa, J. P. Duarte, A. C., ve Rocha-Santos, T. (2019). Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review.*Trends in Analytical Chemistry*, *110*(150-159).

Qiu, Z., Tan, J., Wang, J., Peng, M., ve Li, Z. Z. (2016). Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment. *Estuar. Coast Shelf Sci.*, *176*(102-109).

Raju, S., Carbery, M., Kuttykattil, A., Senthirajah, K., Lundmark, A., Rogers, Z., Scb, S., Evans, G., ve Palanisami, T. (2020). Improved methodology to determine the fate and transport of microplastics in a secondary wastewater treatment plant. *Water Res*, *173*, 115549.

Stanton, T., Johnson, M., Nathanail, P., MacNaughtan, W., ve Gomes, R.L., (2019). Freshwater and airborne textile fibre populations are dominated by 'natural', not microplastic, fibres. *Science of The Total Environment, 666,* 377–389.

Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., ve Ni, B. J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal [Research Support, Non-U.S. Gov'tReview]. *Water Res*, *152*, 21-37.

Tadsuwan, K., ve Babel, S. (2021). Microplastic contamination in a conventional wastewater treatment plant in Thailand. *Waste Manag Res*, *39*(5), 754-761.

Talvitie, J.,, Mikola, A., Koistinen, A., ve Setala, O. (2017). Solutions to microplastic pollution - Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Res*, *123*, 401-407.

Thompson, R. C., Olson, Y. Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., Yuhanna, A. W. G., McGonigle, D., ve Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, *304*(5672), 838.

Turan, N. B., Erkan, H. S., ve Engin, G. O. (2021). Microplastics in wastewater treatment plants: Occurrence, fate and identification. *Process Safety and Environmental Protection*, *146*, 77-84.

Üstün, G.E. (2009). Occurrence and removal of metals in urban wastewater treatment plants. J.Hazard. Mater. *172*, 833–838.

Vardar, S., Onay, T. T., Demirel, B., ve Kıdeys, A. E. (2021). Evaluation of microplastics removal efficiency at a wastewater treatment plant discharging to the Sea of Marmara. *Environmental Pollution, 289,*117862.

Wei, F., Xu, C., Chen, C., Wang, Y., Lan, Y., Long, L., Xu, M., Wu, J., Shen, F., Zhang, Y., Xiao, Y., ve Yang, G. (2021). Distribution of microplastics in the sludge of wastewater treatment plants in chengdu, China. *Chemosphere*, *287*(Pt 4), 132357.

Wei, S., Luo, H., Zou, J., Chen, J., Pan, X., Rousseau, D. P. L., ve Li, J. (2020). Characteristics and removal of microplastics in rural domestic wastewater treatment facilities of china. *Science of The Total Environment*, 739, 139935.

Wolff, S., Kerpen, J., Prediger, J., Barkmann, L., ve Muller, L. (2019). Determination of the microplastics emission in the effluent of a municipal waste water treatment plant using Raman microspectroscopy. *Water Res X*, *2*, 100014.

Wright, S. L., Thompson, R. C., ve Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review [Review]. *Environ Pollut*, *178*,483-492.

Xu, X., Zhang, L., Jian, Y., Xue, Y., Gao, Y., Peng, M., Jiang, S., ve Zhang, Q. (2021). Influence of wastewater treatment process on pollution characteristics and fate of microplastics. *Mar Pollut Bull*, *169*, 112448.

Xu, X., Jian, Y., Xue, Y., Hou, Q., ve Wang, L. (2019). Microplastics in the wastewater treatment plants (WWTPs): Occurrence and removal. *Chemosphere*, *235*: 1089-1096.

Yang, Z., Li, S., Ma, S., Liu, P., Peng, D., Ouyang, Z., ve Guo, X. (2021). Characteristics and removal efficiency of microplastics in sewage treatment plant of Xi'an City, northwest China. *Science of The Total Environment, 771,* 145377.

Yang, L., Li, K., Cui, S., Kang, Y., An, L. ve Lei, K. (2019). Removal of microplastics in municipal sewage from China's largest water reclamation plant, *Water Research*, 155, 175-181.

Yuan, F. Zhao, H. Sun, H. Sun, Y. Zhao, J., ve Xia, T. (2022). Investigation of microplastics in sludge from five wastewater treatment plants in Nanjing, China. *J Environ Manage*, *301*, 113793.

Yurtsever, M. 2015. Mikroplastikler'e Genel Bir Bakış *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendisik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, *17 (2)*(50), 68-83.

Zhang, L., Liu, J., Xie, Y., Zhong, S., ve Gao, P. (2021). Occurrence and removal of microplastics from wastewater treatment plants in a typical tourist city in China. J. *Clean. Prod. 291,* 125968.

Zhang, Y., Wang, H., Xu, J., Su, X. Lu, M., ve Wang, Z. (2021). Occurrence and Characteristics of Microplastics in a Wastewater Treatment Plant. *Bull Environ Contam Toxicol*, *107*(4), 677-683.

Zhang, D., Cui, Y., Zhou, H., Jin, C., Yu, X., Xu, Y., Li, Y., ve Zhang, C. (2020). Microplastic pollution in water, sediment, and fish from artificial reefs around the Ma'an Archipelago, Shengsi, China. *Sci Total Environ*, *703*, 134768.

Zhang, G. S., ve Liu, Y. F. (2018). The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *Sci Total Environ*, *642*, 12-20.

Zhang, Z., ve Chen, Y. (2020). Effects of microplastics on wastewater and sewage sludge treatment and their removal: A review. *Chemical Engineering Journal*, *382*,122955.

Zhang, K., Xiong, X., Hu, H., Wu, C., Bi, Y., Wu, Y., Bingsheng, Z., Lam, P. K. S., ve Liu, J. (2017). Occurrence and characteristics of microplastic pollution in xiangxi bay of three gorges reservoir, China. *Environmental Science & Technology*, *51*(7), 3794–3801.

Zhao, S., Danley, M., Ward, J. E., Li, D., ve Mincer, T. J. (2017). An approach for extraction, characterization and quantitation of microplastic in natural marine snow using raman microscopy. *Analytical Methods*, *9*(1470-1478).

Zhao, S., Zhu, L., ve Li, D. (2016). Microscopic anthropogenic litter in terrestrial birds from Shanghai, China: Not only plastics but also natural fibers [Research Support, Non-U.S. Gov't]. *Sci Total Environ*, *550*, 1110-1115.

Ziajahromi, S., Neale, P. A., Telles Silveira, I., Chua, A., ve Leusch, F. D. L. (2021). An audit of microplastic abundance throughout three Australian wastewater treatment plants. *Chemosphere*, *263*, 128294.

Ziajahromi, S., Neale, P. A., Rintoul, L., ve Leusch, F. D. (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastic. *Water Res*, *112*, 93-99.