



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

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ATIKSU ARITIMINDA MİKROPLASTİK UZAKLAŞTIRMA
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI: ANKARA ÖRNEĞİ**

DOKTORA TEZİ

Hatice BAYRAKTAR

DANIŞMAN

Prof. Dr. Belda ERKMEN

İKİNCİ DANIŞMAN

Prof. Dr. Ülkü Nihan YAZGAN TAVŞANOĞLU

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 182325401 numaralı Doktora öğrencisi Hatice BAYRAKTAR tarafından hazırlanan “**ATIKSU ARITIMINDA MİKROPLASTİK UZAKLAŞTIRMA POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI: ANKARA ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Biyoloji Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Belda ERKMEN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Prof. Dr. Çağlan GÜNAL

Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Dr. Öğretim Üyesi Tamer ÇIRAK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Prof. Dr. İbrahim ÖRÜN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Doç. Dr. Gökben BAŞARAN KANKILIÇ

Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 02/07/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Hatice BAYRAKTAR

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın şekillenmesi ve yürütülmesinde, mikroplastik alanında çalışmam için ön ayak olan desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen, yol gösteren kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Belda ERKMEN'e, her yere yetişen atom karınca sevgili hocam ikinci danışmanım Prof. Dr. Ülkü Nihan YAZGAN TAVŞANOĞLU'na, saha çalışmalarında arazi örneklemeleri için teknik destek sağlayan Ankara Su Kanalizasyon İdaresi'nde (ASKİ) görev alan Daire Başkanlarıma, şef ve personellerine, Ankara Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı mesai arkadaşlarıma, beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Figen ERKOÇ'a, laboratuvar şartlarını benden esirgemeyen bu konuda teknik destek sağlayan, alanında uzmanlaşmış, makalelerde destek sağlayan başım sıkıştığında yetiş hocam deyip beni hiç geri çevirmeyen önümü açan, yol gösteren Doç. Dr. Gökben BAŞARAN KANKILIÇ hocama, Tez İzleme Komitesinde beni dinleyip bana katkı sağlayan desteklerini esirgemeyen laboratuvar konusunda her türlü desteği sağlayan hocam Prof. Dr. Çağlan GÜNAL ve Dr. Öğretim Üyesi Tamer ÇIRAK hocama, Aksaray Üniversitesi Biyoloji Bölümü bünyesinde görev alan çok sevgili hocalarıma, yürüdüğüm yolda ellerinden gelen çabayı sarf ederek yanımda olan çok sevgili dostlarıma, desteklerini esirgemeyen çalışmalarımın her aşamasında benimle birlikte aynı yolda yürüyen AİLEME sonsuz teşekkür ederim.

Ve; Hayatımın en kıymetlisi, binlerce kez şükran duyduğum iyi ki benim kızım dediğim varlığına sonsuz teşekkür ettiğim sevgili kızım KARSU'ya teşekkür ederim.

Kızım KARSU'ya...

Hatice BAYRAKTAR
AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
2. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Mikroplastikler.....	5
2.1.1. Mikroplastiklerin özellikleri.....	5
2.1.2. Mikroplastiklerin kaynakları, çevresel dağılımı ve taşınımı	7
2.1.3. Mikroplastik ve atıksu artıma tesisi ilişkisi.....	10
2.1.4. Mikroplastik ve polimer yapısı.....	15
2.1.5. Mikroplastiklerin canlılara etkisi.....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Çalışma Alanının Özellikleri.....	19
3.2. Örneklem İstasyonlarının Genel Tanımları	25
3.3. Atıksu Numunelerinin Su Kalite Parametreleri	36
3.4. Mikroplastik Örneklem Çalışmaları.....	37
3.6. Laboratuvar Çalışmaları.....	39
3.7. Kalite Kontrol Çalışmaları	42
3.8. İstatistiksel Analizi Çalışmaları	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	43
4.1. Atıksu Numunelerinin Su Analizi Sonuçları.....	43
4.2. Mikroplastik Sayım Çalışmaları	47
4.3. Mikroplastik Renk Analiz Çalışmaları	59
4.4. Mikroplastik Boyut Analiz Çalışmaları	62
4.5. Mikroplastik Polimer Türü Analiz Çalışmaları	66
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ.....	88

DOKTORA TEZİ

ATIKSU ARITIMINDA MİKROPLASTİK UZAKLAŞTIRMA POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI: ANKARA ÖRNEĞİ

Hatice BAYRAKTAR

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Belda ERKMEN

İkinci Danışman: Prof. Dr. Ülkü Nihan YAZGAN TAVŞANOĞLU

ÖZET

Artan plastik kullanımı ile sucul ekosistemlerde endişe verici kirlenici olarak değerlendirilen mikroplastiklerin (MP) farklı kaynaklarının belirlenmesi önemli hale gelmiştir. MP'lerin hem alıcısı hem de kaynağı olarak değerlendirilen atıksu arıtma tesislerinde bu endişe verici kirlenicilerin giderim verimliliklerine dair çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır. Bu tez çalışmasında; Türkiye'nin en büyük atıksu arıtma tesisi olan Ankara İli Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi'nin (Tatlar-AAT) MP yükü ve giderim verimliliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında giriş, deşarj ve geliş hattı üzerinde seçilen üç istasyon olmak üzere beş farklı noktadan yağışlı (Nisan-2022) ve kurak (Ağustos-2022) dönemi temsilen örneklemeler yapılmıştır. Ayrıca tüm istasyonlardan suyun fiziko-kimyasal parametreleri değerlendirilmek üzere numuneler alınmıştır. MP'lerdeki boyut çeşitliliğinin de belirlenmesi amacıyla alınan numuneler farklı göz açıklıklarına sahip elek sisteminden geçirilmiş ve steril cam şişelere aktarılarak laboratuvar ortamına alınmıştır. Örneklemeler organik giderim işlemine tabi tutulmuştur. Ardından stereo mikroskop altında şekil, boyut ve renklerine göre sınıflandırılmıştır. MP miktarı yağışlı dönemde arıtma tesisi giriş noktasında (MP4) 191,3 MP/L iken deşarj suyunda (MP5) 38,7 MP/L, kurak dönemde ise giriş noktasında 175 MP/L, deşarj suyunda 24,1 MP/L olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen MP tipleri fiber, fragment, film, mikrobuncuk ve köpük olurken yağışlı ve kurak dönemde tüm istasyonlarda baskın MP tipi fiber (%79,50-%69,80) olarak belirlenmiştir. MP'lerin yağışlı ve kurak dönemde baskın renklerin sırasıyla siyah ve mavi, baskın boyut aralığının ise 10-100 µm (%77,42-%72,46) olduğu belirlenmiştir. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisiyle polimer yapıları karakterize edilerek 13 farklı tür saptanmış ve her iki dönemde de baskın türlerin polietilen (PE) polipropilen (PP) ve polistiren (PS) olduğu tespit edilmiştir. Tatlar-AAT'de MP giderim verimliliği yağışlı dönemde %80, kurak dönemde ise %86 olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak bu tez çalışmasında elde edilen bulgular, Tatlar-AAT'deki MP kirliliğinin azaltılmasına yönelik inovatif çözümlere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Atıksu Arıtma Tesisi, Kirlilik, Ankara.
Temmuz, 2024; 89 sayfa

PhD. THESIS

INVESTIGATING THE POTENTIAL FOR MICROPLASTIC REMOVAL IN WASTEWATER TREATMENT: ANKARA EXAMPLE

Hatice BAYRAKTAR

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology**

Supervisor: Prof. Dr. Belda ERKMEN

Co-Supervisor: Prof. Dr. Ülkü Nihan YAZGAN TAVŞANOĞLU

ABSTRACT

With the increasing use of plastics, it has become important to identify different sources of microplastics (MPs), which are considered as pollutants of concern in aquatic ecosystems. Studies on the removal efficiency of these pollutants of concern in wastewater treatment plants, which are considered as both the receiver and source of MPs, have gained importance in recent years. In this thesis, it was aimed to determine the MP load and removal efficiency of Ankara Province Central Wastewater Treatment Plant (Tatlar WWTP), the largest wastewater treatment plant in Turkey. Within the scope of the study, five different points, including three stations selected on the inlet, discharge and arrival line, were sampled representing the wet (April-2022) and dry (August-2022) periods. In addition, samples were taken from all stations to evaluate the physico-chemical parameters of the water. In order to determine the size diversity in MPs, the samples were passed through a sieve system with different mesh openings and transferred to sterile glass bottles and taken to the laboratory environment. The MP samples were subjected to organic removal process. Then they were classified according to their shape, size and colour under stereo microscope. The amount of MP was determined as 191.3 MP/L at the inlet point (MP4) and 38.7 MP/L in the discharge water (MP5) during the wet period and 175 MP/L at the inlet point and 24.1 MP/L in the discharge water during the dry period. While the detected MP types were fibre, fragment, film, microbead and foam, the dominant MP type was fibre (79.50%-69.80%) in all stations during the wet and dry periods. The dominant colours of microplastics in wet and dry periods were black and blue, and the dominant size range was 10-100 μm (77.42%-72.46%). Polymer structures were characterised by Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy and 13 different types were identified and it was determined that polyethylene (PE), polypropylene (PP) and polystyrene (PS) were the dominant types in both periods. MP removal efficiency of Tatlar WWTP was found to be 80% in the wet period and 86% in the dry period. As a result, the findings obtained within the scope of this thesis study show that different removal technologies and innovative solutions are needed to reduce MP pollution in Tatlar-WWTP.

Keywords: Microplastics, Wastewater Treatment Plant, Pollution, Ankara.
July 2024; 89 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Uluslararası politikaların belirlediği farklı plastik kirlilik türleri.....	2
Şekil 1.2. Alt sektörlerle ait ton bazında plastik mamul üretimi.....	3
Şekil 2.1. Boyutlarına göre plastiklerin karşılaştırılması.....	6
Şekil 2.2. Mikroplastik kaynakları.....	6
Şekil 2.3. Mikroplastik tipleri.	7
Şekil 2.4. Okyanuslarda tespit edilen mikroplastik kaynaklarının yüzdesel oranları.....	9
Şekil 2.5. Atıksu arıtma tesisi MP ilişkisi.....	10
Şekil 2.6. Atıksu arıtma tesisi mikroplastik giderimi	11
Şekil 2.7. Atıksu arıtma tesisleri mikroplastik giderim verimliliği.	12
Şekil 2.8. Gelişmiş atıksu arıtma teknolojilerinde MP giderim verimliliği.....	14
Şekil 3.1. Ankara ili ve ilçeleri	19
Şekil 3.2. Ankara ilinin ilçelere göre nüfus dağılımı	20
Şekil 3.3. Ankara ili genel atıksu arıtma tesisleri.	20
Şekil 3.4. Yenimahalle, Etimesgut ve Sincan İlçesi kısımlar atıksu kolektör hatları.	23
Şekil 3.5. Numune alınan istasyonlara ait genel görünüm.....	22
Şekil 3.6. Ankara'nın akarsuları ve Ankara Çayı'nın bağlantı noktaları.....	24
Şekil 3.7. Ankara Çayı'nın yol güzergahı.....	24
Şekil 3.8. İvedik Organize Sanayi Bölgesi yerleşim planı.	25
Şekil 3.9. İvedik OSB, Hurdacılar Sitesi istasyonu (MP1).....	25
Şekil 3.10. Batıkent Mahallesi yerleşim planı görüntüsü	26
Şekil 3.11. Batıkent -Yenimahalle istasyonu (MP2).	26
Şekil 3.12. ASO 1. OSB yerleşim planı	27
Şekil 3.13. Sincan istasyonu (MP3).....	27
Şekil 3.14. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi genel görünüş.....	28
Şekil 3.15. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi girişi (MP4)	28
Şekil 3.16. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi çıkışı (MP5)	29
Şekil 3.17. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi vaziyet planı.....	30
Şekil 3.18. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi iş akış şeması.	30
Şekil 3.19. Ön çökeltim havuzları.....	32
Şekil 3.20. Havalandırma havuzu.	32
Şekil 3.21. Ankara Çayı'na deşarj edilen alan.	33
Şekil 3.22. Özümleyici üniteler.	34
Şekil 3.23. Çamur keki.	35
Şekil 3.24. Dalgıç pompa.....	38
Şekil 3.25. Örneklerin elek sisteminden geçirilmesi.	38
Şekil 3.26. Örnek kavanozları.....	39
Şekil 3.27. Organik giderim işlemleri.....	40
Şekil 3.28. Vakumlu filtrasyon sistemi.....	41
Şekil 3.29. Stereomikroskop altında yapılan inceleme.....	41
Şekil 3.30. Çalışma alanı kontaminasyon görüntüsü.	42
Şekil 4.1. MP1, MP2 ve MP3 istasyonlarında yağışlı ve kurak dönemde ölçülen parametreler	44
Şekil 4.2. MP4 ve MP5 istasyonlarında yağışlı ve kurak dönemde ölçülen değişkenler.	45
Şekil 4.3. Yağışlı dönem tespit edilen mikroplastik görselleri.	47
Şekil 4.4. Yağışlı dönem tüm istasyonlara ait genel dağılım.....	48

Şekil 4.5. Yağışlı dönem MP1, MP2, MP3 istasyonlarında tespit edilen mikroplastik sayıları.	49
Şekil 4.6. Yağışlı dönem MP4, MP5 istasyonlarında tespit edilen mikroplastik sayıları.	50
Şekil 4.7. Kurak dönem tespit edilen mikroplastik türlerine ait görseller.	51
Şekil 4.8. Kurak dönem tüm istasyonlara ait genel ait genel dağılım.....	53
Şekil 4.9. Kurak dönem MP1, MP2, MP3 istasyonlarında tespit edilen mikroplastik tipleri	52
Şekil 4.10. Kurak dönem MP4, MP5 istasyonlarında tespit edilen mikroplastik tipleri.	56
Şekil 4.11. Yağışlı ve kurak döneme ait tespit edilen mikroplastik verilerine uygulanan Friedman test analiz sonuçları.	56
Şekil 4.12. Yağışlı ve kurak dönem mikroplastiklerin karşılaştırılması.	57
Şekil 4.13. Yağışlı dönem % giderim verileri.	58
Şekil 4.14. Kurak dönem % giderim verileri.	59
Şekil 4.15. Mevsimsel değişim % giderim verimliliği	59
Şekil 4.16. Yağışlı döneme ait renk dağılımı.....	60
Şekil 4.17. Kurak döneme ait renk dağılımı.	61
Şekil 4.18. Yağışlı ve kurak döneme ait mikroplastik renk skalası.	62
Şekil 4.19. Yağışlı ve kurak döneme ait boyut analizi karşılaştırması.	63
Şekil 4.20. Yağışlı ve kurak dönemlerde eleklerin karşılaştırmalı sonuçları.	64
Şekil 4.21. Yağışlı ve kurak dönemlerde farklı göz açıklıklarına sahip elek sistemine göre yapılan friedman sonucu.	65
Şekil 4.22. Polimer incelemesi yapılan örneklerle ait mikroplastik tipleri.....	66
Şekil 4.23. Yağışlı döneme ait tespit edilen polimer türleri	67
Şekil 4.24. Kurak döneme ait tespit edilen polimer türleri	67
Şekil 4.25. Yağışlı ve kurak dönem toplam polimer türlerin % dağılımı.....	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Polimerler ve kullanım alanları	15
Çizelge 3.1. Ankara İli arıtma tesisleri	21
Çizelge 3.2. Atıksu numune örneklem istasyon koordinatları	22
Çizelge 3.3. Parametrelere ait analiz metotları	36
Çizelge 3.4. Ankara iline ait yıllık meteoroloji verileri	37
Çizelge 4.1. Atıksu analizi yağışlı dönem tablosu	43
Çizelge 4.2. Atıksu analizi kurak dönem tablosu	43
Çizelge 4.3. Yağışlı dönem parametrelere ait elde edilen verim yüzdesi	46
Çizelge 4.4. Kurak dönem parametrelere ait elde edilen verim yüzdesi	46
Çizelge 4.5. Yağışlı dönem tüm istasyonlara ait toplam mikroplastik miktarı.....	48
Çizelge 4.6. Kurak dönem tüm istasyonlara ait toplam mikroplastik miktarı	52
Çizelge 4.7. Yağışlı ve kurak dönemlerde numunelerin analiz sonuçları.....	55
Çizelge 4.8. Yağışlı ve kurak döneme ait istasyonların ikili karşılaştırma sonuçları.....	56
Çizelge 4.9. Yağışlı dönemde arıtma tesisi giriş ve çıkış noktalarında tespit edilen mikroplastik miktarları	57
Çizelge 4.10. Kurak dönemde arıtma tesisi giriş ve çıkış noktalarında tespit edilen mikroplastik miktarları.....	58
Çizelge 4.11. Yağışlı ve kurak dönemlere ait istasyonlarda tespit edilen mikroplastiklerin boyut analizi	62
Çizelge 4.12. Yağışlı ve kurak dönemlerde eleklerin karşılaştırma sonuçları.....	63
Çizelge 4.13. Yağışlı ve kurak dönemlerde istasyonların boyutlarına göre % dağılımı	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AKM	Askıda Katı Madde
AKR	Akrilik
ASA	Akrilonitril Stiren Akrilat
ASKİ	Ankara Su Kanalizasyon İdaresi Başkanlığı
ASO	Ankara Sanayi Odası
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CH₄	Metan
CO₂	Karbondioksit
DAP	Dialil Fitalat
EC	Elektriksel İletkenlik
EPA	Avrupa Çevre Ajansı
EVA	Etil vinil asetat
Fe (II)SO₄	Demir Sülfat
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
H₂O₂	Hidrojen Peroksit
H₂S	Hidrojen Sülfür
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
Kg	Kilogram
Km²	Kilometrekare
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	Litre
mg	Miligram
ml	Mililitre
MP	Mikroplastik
Mt	Milyon Ton
NO₂	Nitrit
NO₃	Nitrat
NOAA	Ulusal Atmosferik ve Okyanus Komitesi
°C	Santigrat Derece
OSB	Organize Sanayi Bölgesi
PA	Poliamid
PAGEV	Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı
PC	Polikarbonat
PCB	Poli Klorlu Bifenil
PCL	Polikaprolakton
PE	Polietilen
PES	Polyester
PET	Polietilentereftalat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PTFE	Politetrafloroetilen
PUR	Poliüretan
PVC	Polivinil Klorür
Sn	Saniye
SS	Standart Sapma

TN	Toplam Azot
TP	Toplam Fosfor
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UV	Ultraviyole
WET	Islak Peroksit Oksidasyonu
µm	Mikrometre



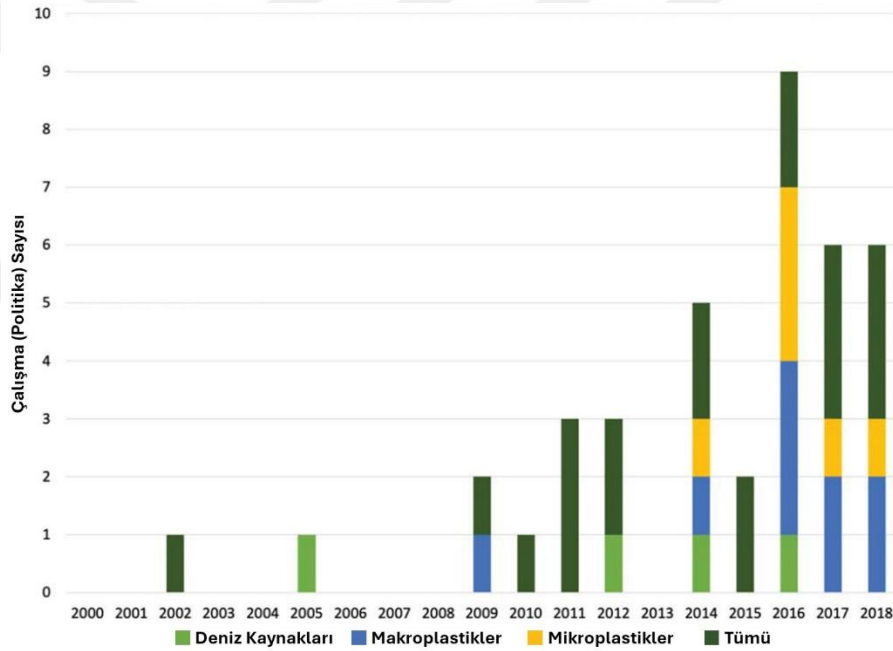
1.GİRİŞ

Dünyada giderek artan insan nüfusu sebebiyle doğal kaynaklar hızla tükenmeye başlamıştır. Rekabet gücünün artması, istihdam kapasitesinin güçlenmesi, tüketici alışkanlıklarında başlayan değişimler plastik kullanımında da artışlara neden olmuştur (Karasik vd., 2020). Plastik kullanımının artması ekosistemler, insan sağlığı ve iklim değişikliği üzerine olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. Plastik kirliliğini kaynağında azaltma, sürdürülebilir bir atık yönetimi oluşturma ve geri dönüştürülebilir atık ve atıksuların yeniden kullanılabilmesi son yıllardaki önemli konulardandır. Plastik materyaller 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra şekillenebilir, korozyona dayanıklı türler olarak üretilmeye başlanmıştır. Sağlık, otomotiv, tekstil, inşaat, elektronik, paketlenme gibi sayısız birçok alanda kullanılan plastikler yüksek moleküler kütleli petrol, gaz veya kömürden üretilen sentetik organik polimer yapısına sahip türlerdir (Cole vd., 2011; Ivleva vd., 2017). Plastikler iki gruba ayrılırlar: Birinci grup termoset olarak bilinen ısıtıldığında çözünmeyen ve erimeyen fenol reçineler, alkitler poliüretanlardır. İkinci grup termoplastikler ise ısıtıldığında eriyebilen düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen, polistiren, polipropilen, polikarbonatlardır. En yaygın kullanılan poliamid (nylon), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS), polietilentereftalat (PET), polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polyesterlerdir. Termoset plastikler daha az üretildiklerinden daha az miktarlarda bulunurlar. Termoset plastikler termoplastiklere göre çok daha az geri kazanılabilmektedir (Plastics Europe, 2019).

1950 yıllarında küresel boyutta plastik üretimi 1,5 milyon ton civarlarında iken, plastik üretiminde talebin hızla artış sağlaması ile 2050 yılına kadar plastik üretiminin 1,1 milyar tona ulaşabileceği rapor edilmektedir (UNEP, 2022). Dünya çapında plastik üretiminin 20 kat arttığı sonraki yıllarda ise ikiye katlanarak artacağı tahmin edilmektedir (Perren vd., 2018). Dünya çapında plastik üretiminin yaklaşık %33'ü ambalaj malzemesi, %16'sı inşaat ve yapı malzemesi %14'ü tekstil ve %10'luk kısmı ise çeşitli tüketim malzemelerinde kullanılmaktadır (Karasik vd., 2020). Plastiklerin birçok alanda kullanılması ekosistem üzerinde olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. Artan plastik üretimi insan hayatını kolaylaştırmanın yanı sıra doğada yavaş bozunmaları ile ekosistemde birikime neden olmaktadır.

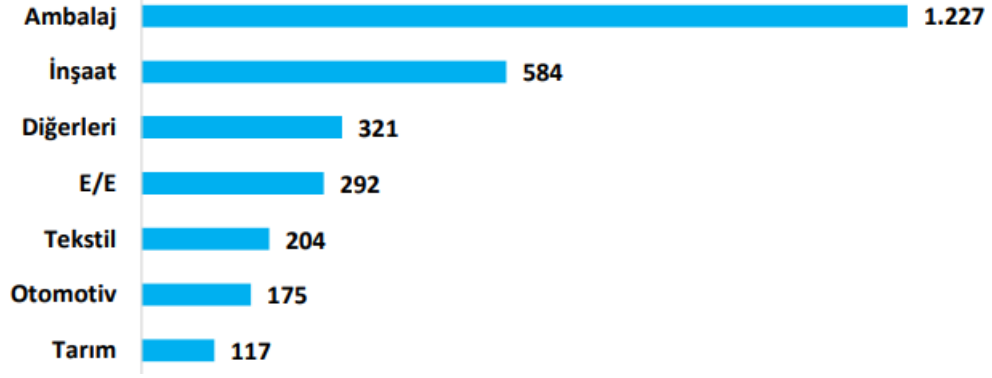
Plastiğin kirletici olarak bilinmesinden bu yana plastik ürün atıklarının çevreye sızmasına engel olmak için çalışmalar başlatılmış, sürdürülebilir çözümlerin üretilmesi önem kazanmıştır. Avrupa Çevre Ajansı'nın 2015 verilerinde Avrupa Birliği'nde (AB) üretilen 30 milyon ton (Mt) atığın %17'si yeniden kullanım veya geri dönüşüm için toplanmış, %83'ünün ise kayıp olduğu rapor edilmiştir. Avrupa Çevre Ajansı'nın (EPA) yayınladığı 2019 yılı raporuna göre plastik atıkların çevreye olan yayılımının bu hızla devam etmesi durumunda 2040 yılında okyanuslarda plastik atık miktarının üç katına ulaşacağı bildirilmiştir (URL-1).

Uluslararası politikalarla plastik azaltımı, plastik kirliliği ve plastik kirlilik türlerinin düzenlenmesi için çeşitli çalışmalar başlatılmıştır. Plastik kirlilik türlerine ait bu çalışmalar Şekil 1.1'de verilmiştir (Karasik vd., 2020).



Şekil 1.1. Uluslararası politikaların belirlediği farklı plastik kirlilik türleri (Karasik vd., 2020).

Türk Plastik Sanayicileri Araştırma, Geliştirme ve Eğitim Vakfı'nın (PAGEV) 2022 yılı raporunda plastik ürün üretiminin yıl sonu itibarıyla 11,3 milyon tona ulaştığı belirtilmiştir. 2024 yılının ilk üç ayında hazırlanan Plastik Sektör Raporu'nda (PAGEV, 2024) ise 2,9 milyon tonluk plastik mamul üretimi yapıldığı ve bunun yaklaşık 1,23 milyon tonunun plastik ambalaj malzemeleri olduğu rapor edilmiştir (URL-2). Alt sektörler bazında plastikten üretilen mamuller Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Alt sektörlere ait plastik mamul üretimi (1000 ton) (URL-2).

Artan plastik üretimi ile ülkemizde ve dünyada plastik ürün politikalarının değerlendirilmesi, geri dönüşüm, geri kazanıma yönelmenin sağlanabilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Plastik kullanımının artmasıyla birlikte mikroplastiklerin varlığında da artışlar başlamış, bu kirleticiler nehir, deniz, göl, tarım arazileri ve atmosferde tespit edilmiştir (Carr vd., 2016; Ragoobur vd., 2021; Wang vd., 2018; Zhu vd., 2019).

Genel olarak denizlerde, göllerde ve nehirlerde plastiğin %75-90' ı karasal kaynaklıdır. Geri kalan kısım ise evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden gelen temizlik ve kozmetik ürünleri, çamaşır makinelerinden kaynaklanmaktadır (Duis ve Coors, 2016; Karbalaei vd., 2018). Evsel ve endüstriyel atıkların arıtma tesislerine ulaşması ile arıtmadan geçebilen mikroplastikler su havzalarına deşarj edilmektedir (Jambeck vd., 2015; Vardar, 2020). Su kaynaklarının yüzeyinde birikim sağlayan mikroplastiklerin asıl sebebi arıtma tesislerinden, arıtma teknolojilerinden arıtılmadan iletilenlerdir. Arıtma tesisleri mikroplastiklerin noktasal kaynaklarıdır. Her ne kadar yüksek verimle giderim sağlansa da yüksek debi olması sebebiyle büyük miktarlarda mikroplastikler deşarj edilmektedir. Arıtma tesislerinden deşarj edilen atıksular içerisinde bulunan mikroplastiklerin nehir ve ırmaklar aracılığı ile sel, yağmur ve rüzgarların etkisiyle denizlere ve okyanuslara kadar taşınımı gerçekleşmektedir (Duis ve Coors, 2016; Gündoğdu vd., 2018; Jambeck vd., 2015; Vardar, 2020). Ayrıca atıksu arıtma tesisleri mikroplastik giderim verimliliği yüksek bir arıtma sağlarken, ortaya çıkan arıtma çamurlarında mikroplastikler birikim sağlamaktadır (Ziajahromi vd., 2021).

Arıtma çamurlarında MP birikiminin kontrolü için kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde bulunan mikrobuncukların kısıtlanmasına yönelik uygulanacak politika ve düzenlemeler önem sağlamaktadır (Crossman vd., 2020). 2020 yılında ülkemizde belediyelerin işletmiş olduğu atıksu arıtma tesislerinde 314 bin ton arıtma çamurunun oluştuğu tespit edilmiştir (TUİK, 2021). Yapılan birçok çalışmada mikroplastiklerin arıtma çamurlarında bol miktarda bulunduğuna dair veriler dikkate alındığında, arıtma çamurlarından çevreye salınan mikroplastik miktarlarında ciddi artışlar görülmektedir. Çamuru çürütme sürecinde dahi mikroplastiklerin etkisi olduğu tespit edilmiştir. %99 oranında arıtma çamurlarında tutulduğu MP konsantrasyonlarının da $1,5 \times 10^3$ - $2,4 \times 10^4$ MP/kg arasında değiştiği tespit edilmiştir (Iyare vd., 2020; Mintening vd., 2017; Zhang ve Chen, 2020).

Ülkemizde atıksu arıtma tesilerinden kaynaklanan mikroplastik kirliliğine dair araştırma ve çalışmalar oldukça sınırlı sayıda olup, halen devam etmektedir (Akarsu vd., 2020; Bilgin vd., 2020; Erkan vd., 2023; Gündoğdu vd., 2018; Koyuncuoğlu ve Erden, 2023; Sönmez vd., 2023; Üstün-Odabaşı vd., 2020; Vardar, 2020;).

Yapılan literetür araştırmalarına göre; Türkiye'nin başkenti Ankara ili ve ilçelerinde bulunan atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik kirlilik yükünün tespitine ait herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla bu tez çalışmasında; Ankara İli Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi'ne gelen hat üzerinden ve arıtma tesisi giriş-çıkışından yağışlı ve kurak dönemlerde alınan atıksu numunelerinde mikroplastik kirlilik yüklerinin tespiti amaçlanmıştır. Böylece ülkemizin başkenti olan nüfusun yüksek olduğu Ankara ilinde atıksu arıtma tesisi hattı boyunca ve tesis giriş-çıkışından tespit edilen bu endişe verici kirleticinin kent ölçeğindeki durumu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

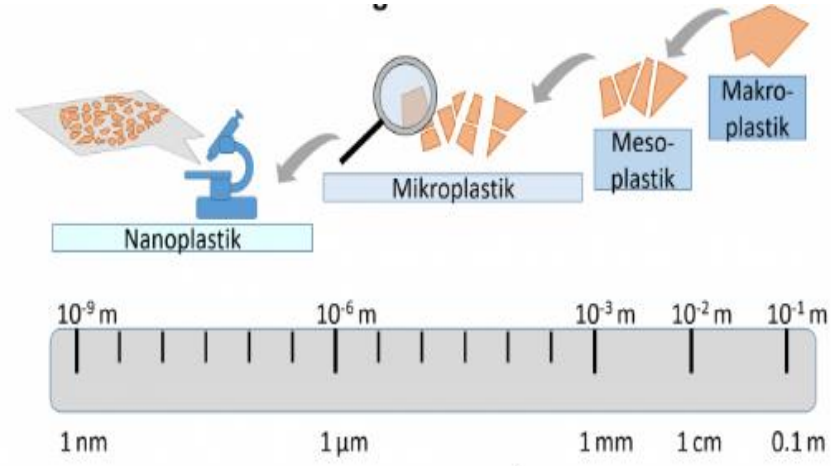
2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Mikroplastikler

2.1.1. Mikroplastiklerin özellikleri

1930'lu yıllarda plastiklerin geniş kullanım alanlarından dolayı plastik satışı ve kullanımı pazar payında baskın hale gelmiştir (Jambeck vd., 2015). Üretilen plastikleri renklendirmek, esnek hale getirmek, aleve ve ultraviyole ışığa dayanıklı hale getirmek için organik, inorganik katkı maddeleri kullanılmaktadır (Hale vd., 2018). Dayanıklı hale gelen plastikler çevreye uygun olmayan koşullarda geliş güzel atılması ile çevrede ciddi sorunlara yol açmaktadır. Doğada bozunmalarının yavaş olması, sosyal, ekonomik ve ekolojik olarak zarar oluşturmaktadır (Chae ve An, 2018; Cole vd., 2011; Galgani vd., 2010; Huang vd., 2020).

İlk olarak 1972 yılında Sargasso Denizi'nde yüzen küçük boyutlarda plastiklerin keşfedilmesi ile mikro boyutlarda, farklı şekil, renk ve kimyasal bileşenlerde sucul alanlarda plastik partiküllerinden haberdar olunmuştur (Carpenter ve Smith, 1972). 1970 ve 1990'lı yıllarda okyanuslarda plastik çöplerle ilgili raporlar oluşmaya başlamış ve canlı organizmalar üzerinde oluşturduğu tehlikeler üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır (Andray, 2011). 2000 'li yıllarda gözle görülemeyen küçük boyutlarda plastik parçacıkların tespiti yapılmıştır. Tespit edilen bu küçük plastik parçacıklar için "mikroplastik" terimi ilk olarak 2004 yılında kullanılmıştır (Thompson vd. 2004). Böylece mikroplastik (MP) kavramı literatürlerde yerini almaya başlamış, keşfi yapılan mikroplastiklerin insanlardan kaynaklanan atık temelli maddeler olduğu kanısına varılmıştır (Andray, 2011). Mikroplastikler literatüre göre 5 mm'den küçük 1 µm'den büyük plastik parçalar, yüksek polimer içerikli sentetik malzemeden üretilmiş, suda çözünemeyen ve parçalanamayan katı parçalar olarak tanımlanmıştır (Duis ve Coors, 2016; Hidalgo-Ruz vd., 2012) (Şekil 2.1). İlk tanımlandıkları yıllardan itibaren de ekosistem için kirletici olarak belirlenmiştir (Tagg vd., 2017)



Şekil 2.1. Boyutlarına göre plastiklerin karşılaştırılması (URL-3).

Mikroplastikler kararlı kimyasal yapıya, küçük boyutlara, geniş bir spesifik yüzey alanı ve genelde güçlü hidrofobik karaktere sahiptirler ve insanlara geri dönüşü olmayan zararlar verebilir (Fan vd., 2023; Lu vd., 2023). Büyük plastik parçalar farklı mekanizmalar sonucu tek tek veya birlikte hidroliz, mekanik kırılma, aşınma, mikroorganizmalar aracılığıyla biyobozunma nedeniyle parçalanarak daha küçük parçalara dönüşürler (Enfrin vd., 2019). Mikroplastikler birincil ve ikincil mikroplastikler olarak adlandırılırlar (Şekil 2.2). Birincil mikroplastikler; plastik peletlerden, mikrobuncuk içeren kişisel bakım ürünlerinden, deterjanlardan, suni çimler, boyalar, tekstilden, araç lastiklerinden kaynaklanırken, ikincil mikroplastikler ise büyük plastiklerin zamanla çevresel koşullar nedeniyle parçalanmaları sonucunda ortaya çıkar (Amobonye vd., 2021; Browne vd., 2011; Cole vd., 2011; Jones vd., 2020; Smyth vd., 2021).



Şekil 2.2. Mikroplastik kaynakları (URL-4).

Mikroplastikler; farklı renk, tip, boyut, form ve polimer yapısına sahiptir. Yapılan bir çalışmada en çok görülen rengin siyah, şeffaf ve beyaz olduğu; turuncu, kırmızı, mavi, yeşil ve mor gibi renklerin daha az gözlemlendiği, bu nedenle de renklerin ayrıştırılması yapılırken sınıflandırma yapılması gerektiği tavsiye edilmiştir (Lusher vd., 2020).

Mikroplastikler fiber, fragment, film, mikrobuncuk, pelet, köpük gibi tiplere sahiptirler (Şekil 2.3). Mikrobuncukların genelde kozmetik, ilaç, detarjanlar gibi alanlarda kullanımları söz konusudur (Browne vd., 2011; Lusher vd., 2020; Wagner vd., 2014).



2.1.2. Mikroplastiklerin kaynakları, çevresel dağılımı ve taşınımı

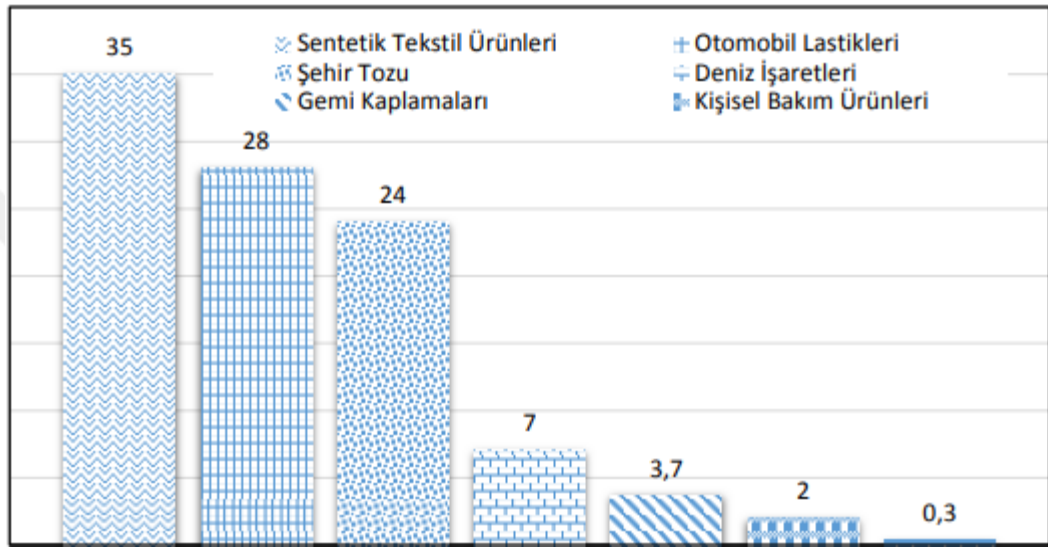
Mikroplastikler soluduğumuz havadan, yediğimiz yiyeceklere kadar her yerde bulunan parçacıklardır. Mikroplastiklerin küresel dağılımı son on yılda artan bir ivmeye ulaşmıştır (Barnes vd., 2009). Dünyanın en derin noktası olarak bilinen Mariana çukuru dip sedimanlarında bile (-10.994 metre) mikroplastiklerle karşılaşılması durumun ne kadar ciddiyette olduğunun ispatı olarak karşımıza çıkmaktadır (Yurtsever, 2018). Asıl soru ise çevre ve insan sağlığını nasıl etkilediği ve ne ölçüde risk oluşturduğudur (Koelmasn vd., 2022). Plastik oluşumu sırasında kullanılan katkı maddeleri arasında ftalatlar plastik haline gelmesinde, alkilfenoller, stabilizatör olarak, bisfenol katkı maddesi olarak, organik bileşikler sabitleyici olarak ve polibromlu difenil eterler ise alev geciktirici olarak kullanılırlar. Kalıcı toksik kirleticiler zamanla mikroplastikler tarafından adsorbe olurlar (Bouwmeester vd., 2015).

Mikroplastikler yüksek bozunma direncine sahip ve biyobirikim nedeniyle çevre için çok kritik bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Mikroplastikler mikroorganizmalar tarafından kolonize edilebilir ve su su ekosistemlerinde nitrojen ve fosfor döngülerine katılabilen biyofilmler oluşturular (Chen vd., 2020). Mikroplastikleri uzaklaştırmaya, geri dönüştürmeye ya da parçalamaya yönelik şu an yürütülen mevcut teknolojiler mikroplastiklerin ortadan kaldırılması için yetersizdir (Chen vd., 2022).

Son yıllarda, farklı mikroplastik kaynaklarını ve bunların çevre üzerindeki göreceli etkilerini değerlendirmek için daha fazla araştırma yapılmaktadır (Auta vd., 2017; Corradini vd., 2019). Yapılan bu araştırmalarda çöp atma, plastik atık depolama ve atık depolama sahalarının uygun olmayan koşullarda yönetilmesinden kaynaklanan plastik kirliliğinin etkilerini incelemeye odaklanılmıştır (Duis ve Coors, 2016). Ancak son birkaç yılda tarım sektöründe kullanılan tekniklerden kaynaklanan mikroplastik kirliliği çevresel kaygıları da beraberinde getirmiştir. Tarımda bitkinin yetişmesi ve iklim şartlarından kaynaklı sürdürülebilirliği artırmak için kullanılan plastik materyaller, plastik su boruları, plastik sera örtülerinin imha edilmesi gibi yapılan tarımsal uygulamalar endişe yaratmaya başlamıştır (Akça ve Ok, 2021). Mikroplastikler toprağın hidrofobikliğini artırarak bitkilerin büyümesinde engel teşkil ederler. Azot ve fosfor döngüsünün değişimine yol açarak besin dengesinde değişikliğe neden olurlar ve potansiyel olarak ekosistemin işleyişinin bozulmasına sebep olurlar (Gupta vd., 2024).

Karasal ekosistemlerde mikroplastik kirliliğinin kaynakları hakkında çok az bilgiler mevcuttur. Kent ortamında özellikle araç lastiklerinden oluşan döküntülerden mikroplastik parçaları karasal ortama oradan da akıntılarla taşınarak denizel ortamlara ulaşmaktadır (Campanale vd., 2022). Akıntılar, gelgitler, rüzgarlar denizlere mikroplastiklerin taşınımında ana bileşenlerdir (Akdogan ve Guven, 2019). Denizlerdeki plastiklerin %80'i karadan çoğunlukla da tarımsal uygulamalardan ve çöp depolama alanlarından gelmektedir (Gündoğdu vd., 2018). Bazı mikroplastikler düşük yoğunlukları nedeniyle batmadıklarından dolayı okyanuslarda çok uzak mesafelere sürüklenbilirler. Mikroplastikler atmosferde kentsel alanlardan uzak bölgelere kadar taşınırken 1 ile 3 kat büyüklüğünde birikim meydana gelir. Atmosfer hem deniz hem de karasal alanlara plastiklerin taşınımı için önemli bir vektördür.

Rüzgarlarla yüksek enlemlere taşınan MP'ler buzullarda birikmesinde önemli bir yoldur (Zhang vd., 2020). Allen vd., (2019) tarafından yapılan çalışmada parçacık taşınımının 100 km'den fazla olduğu kanıtlanmıştır. Bu durum mikroplastiklerin atmosferik taşınımı üzerindeki etkileri hakkında ciddi endişeler ortaya çıkarmıştır (Sridharan vd., 2021). Okyanuslarda bulunan mikroplastiklerin yapılan birçok bilimsel çalışmalarla nerelerden kaynaklandığı Şekil 2.4'de verilmiştir (Atakan vd., 2019; Boucher ve Friot 2017).



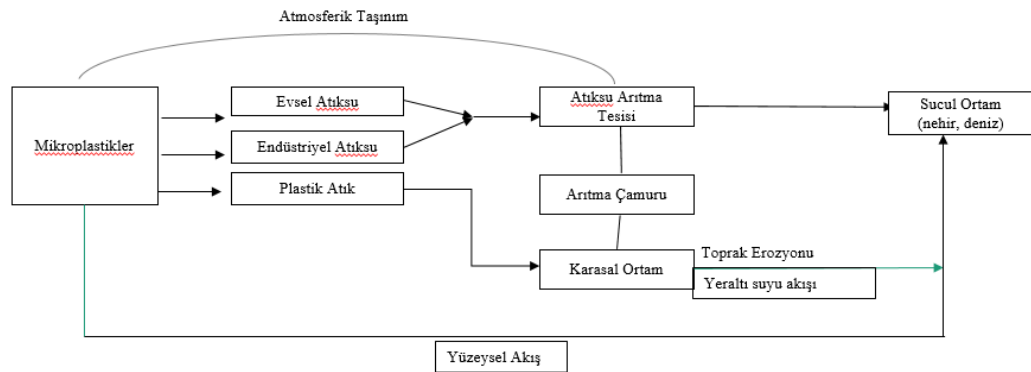
Şekil 2.4. Okyanuslarda tespit edilen mikroplastik kaynaklarının yüzdesel oranları (Atakan vd., 2019; Boucher ve Friot, 2017).

Mikroplastikler okyanuslarda hem yüzer hem de batır haldedir. Polipropilen gibi deniz suyundan daha hafif MP'ler okyanuslarda yüzerek çok geniş bir alana yayılarak akıntılardan oluşan girdaplarda birikirler. Akrilik gibi diğer MP'ler deniz suyundan daha yoğun olduğundan okyanusların ve denizlerin tabanında birikmektedirler (Boucher ve Friot., 2017). Denizlerde besin ağının temelini oluşturan planktonlara yönelik mikroplastiklerin oluşturacağı tehdit ciddi ve endişe verici sonuçları ortaya çıkarır (Andray, 2011). Okyanuslarda bulunan plastik kirliliğinin %80'i potansiyel olarak atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanmaktadır. Tatlı su sistemleri iç ve kıyı suları okyanuslara bağlanırlar ve mikroplastik girdisi için akış taşıma yolunu temsil ederler (Napper vd., 2021). Özellikle sanayinin geliştiği ülkelerde, atık depolama sahaları çitlerle çevrilir ve atıklar genellikle toprakla ya da sentetik bir malzemeye kaplanır, bu durum aynı zamanda MP akışının azaltılmasına da yardımcı olmaktadır.

Ancak gelişmekte olan ülkelerde bu yönetim uygulamalarında aksaklıklar ve eksiklikler görülmektedir (Duis ve Coors, 2016; Karbalaeei vd., 2018). AAT'ye giren kirletici maddelerin %80'den fazlası gübre olarak uygulanabilen biyoyakıtlarda tutulmakta ve bu potansiyel toprak kirlilik kaynağı oluşturmaktadır (Alvim vd., 2020). Çevreye giren plastik atıklar fiziksel, kimyasal olarak ayrılarak yüzeyden toprağın derin katmanlarına kadar ulaşmaktadır (Akça ve Ok, 2021; Xu vd., 2020). MP'ler toprağın fiziksel özelliğini değiştirebilir, toprakta parçalanmasıyla birlikte nano boyutlara ulaşarak farklı çevresel riskleri de beraberinde getirebilir (Karbalaeei vd., 2018). Ülkemizde su ekosistemlerinde makro-mikro plastik kirlilik kaynakları ve seviyeleri düzenli olarak izlenmeli, eğitim ve farkındalık kampanyaları ile uzun vadeli yatırımlara dönüştürülmelidir (Çevik vd., 2021).

2.1.3. Mikroplastik ve atıksu arıtma tesisi ilişkisi

İnsan faaliyetleri su ve karada oluşan mikroplastik kirliliğinden doğrudan sorumludur. Atıksular farklı kaynaklardan gelen plastiği taşıma kapasitesine sahiptirler. Arıtma tesisleri MP'ler ile çevre arasında bariyer görevini sağlayan savunma hatlarıdır. Ancak yeterli arıtma yapılmaması durumunda büyük miktarlardaki MP'ler deşarj edilerek çevreye salınırlar. Çünkü atıksu arıtma tesislerinde bulunan sistemler plastik malzemeleri özel olarak metabolize etmek için tasarlanmamıştır. Bu nedenle arıtma tesisleri mikroplastiklerin noktasal kaynaklarıdır (Raju vd., 2018). AAT'lerde hergün yüksek konsantrasyonlarda MP salınımı gerçekleşmektedir (Karbalaeei vd., 2018). Mikroplastikler atmosferik taşınım, yüzeysel akışlarla arıtma tesislerine ulaşarak sucül ekosistemlere taşınırlar (Krishnan vd., 2023). Atıksu arıtma tesisleri MP taşınımı arasında bulunan ilişkilendirme Şekil 2.5'de verilmektedir.



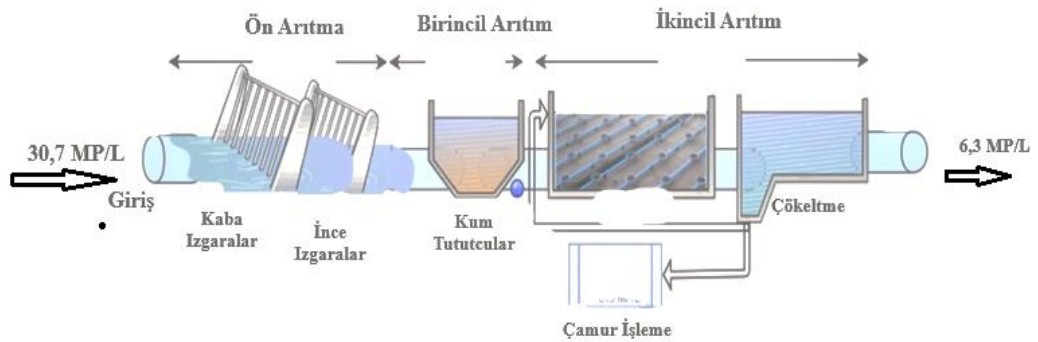
Şekil 2.5. Atıksu arıtma tesisi MP ilişkisi (Krishnan vd., 2023).

Şehir kanalizasyon sistemleriyle toplanan atıksular arıtma tesislerine ulaşırlar (Sol vd., 2022). Tipik bir AAT’de atıksu deşarj edilmeden önce atıksuyu arıtmak için birincil, ikincil veya üçüncül arıtım süreçlerinden geçerler. MP’ler eleme, yüzdürme, sedimentasyon, pıhtılaşma-topaklaşma ve filtreleme v.b. yollarla uzaklaştırılırlar. Bu plastiklerin çoğu birincil arıtmada çökelir ancak birincil arıtmada kaba ve ince ızgaralarla büyük boyut plastiklerin tutulumu sağlanır fakat tamamen ortadan kaldırmaz sonrasında ileri arıtma teknolojileriyle (ikincil veya üçüncül arıtım) uzaklaştırılır (Raju vd., 2018).

Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin giderim oranlarında farklılıklar mevcuttur. Bu durum gelen atıksuyun kalitesine, atıksudaki mikroplastiklerin büyüklüğüne ve özelliğine, arıtmada kullanılan proseslere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Çin’in Changsha eyaletinde yapılan bir çalışmada atıksu arıtma tesislerinde giderim verimliliğinin %48-%99 aralığında olduğu tespit edilmiştir (Luo vd., 2023).

Birleşik Krallık’da üçüncül arıtım yapan atıksu arıtma tesisinin ön arıtma, birincil, ikincil ve üçüncül arıtma aşamalarında yıl boyunca yapılan çalışmada sırasıyla proseslerde ortalama %6, %68, %92 ve %96 oranında mikroplastiklerin tutulumunun sağlandığı tespit edilmiştir (Blair vd., 2019).

Yapılan bir başka çalışmada arıtma tesisine giriş yapan mikroplastiklerin arıtma ünitelerinden belirli yüzdelerde giderim sağlandığı tespit edilmiştir (Bilgin vd., 2020) (Şekil 2.6).

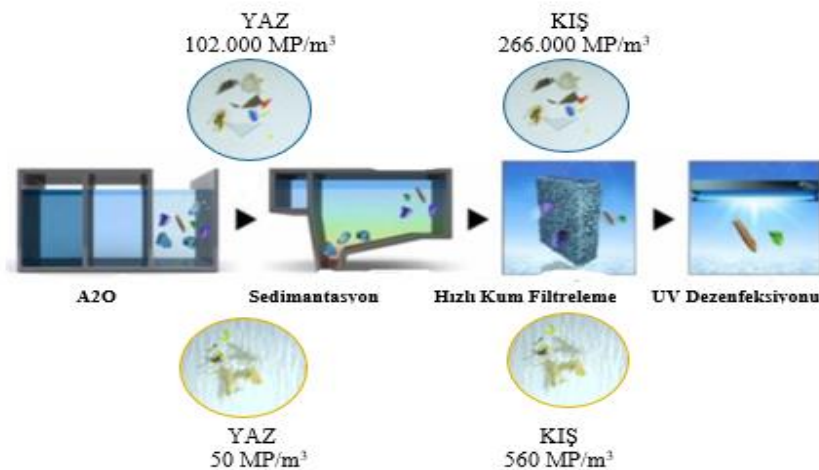


Şekil 2.6. Atıksu arıtma tesisi mikroplastik giderimi (Bilgin vd., 2020).

Bilgin vd., (2020) tarafından aktif çamur prosesli arıtma tesisinde birincil arıtım sonrası 1-5 mm boyutunda bulunan mikroplastiklerin %59 oranında gideriminin sağlandığı belirtilmiştir.

Yine aktif çamur prosesli arıtma tesisleri ve ikincil çöktürmelerde giderim oranlarında %7-20 seviyesinde artışların sağlandığı ve giderim oranına katkı sağladığı tespit edilmiştir (Corradini vd., 2019; Gatidou vd., 2019; Salmi vd., 2021; Sun vd., 2019; Talvitie vd., 2017a).

Mikroplastiklerin atıksu arıtma tesislerinde örneklenmesi, analizi ve miktarlarının belirlenmesinde kullanılan yöntem ve deneyler farklılık göstermektedir. Atıksu deşarjından elde edilen atıksuyun akifer besleme sistemi ile toprağa verilmesi sonucu topraktaki mikroplastiklerin akıbeti hakkında yapılan çalışmada mikroplastiklerin ön arıtma, karakterizasyon, boyut dağılımı, morfolojisi, renk ve kimyasal tanımlama metodları gibi aşamaları takip ederek tespit edildiği ortaya konulmuştur (Contreas- Llin ve Diaz- Cruz, 2024). Yağmur suyu ve atıksuyun birleştiği birleşik kanalizasyon sisteminde yağışlı ve kurak havalarda Luo vd., (2023) tarafından yapılan çalışmada yağışlı zamanlarda kurak havaya göre AAT'nin giriş suyunda 1,5 kat daha fazla mikroplastik olduğu tespit edilmiştir. Kore'de Kim vd., (2022) tarafından üçüncül AAT'de yapılan bir çalışmada 1-20 μm 'ye kadar olan MP'leri ölçerek karakterize edip parçacık sayılarının tespiti yapılmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Atıksu arıtma tesisleri mikroplastik giderim verimliliği (Kim vd., 2022).

Iyare vd., (2020) tarafından 21 atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmada tesislerin mikroplastığı giderme oranları karşılaştırılmış ikincil ve üçüncül arıtmada sırasıyla ortalama %88 ve %94 oranında giderim sağlandığı, ancak uzaklaştırılan mikroplastiklerin çoğunluğunun arıtma çamurlarında toplandığı tespit edilmiştir.

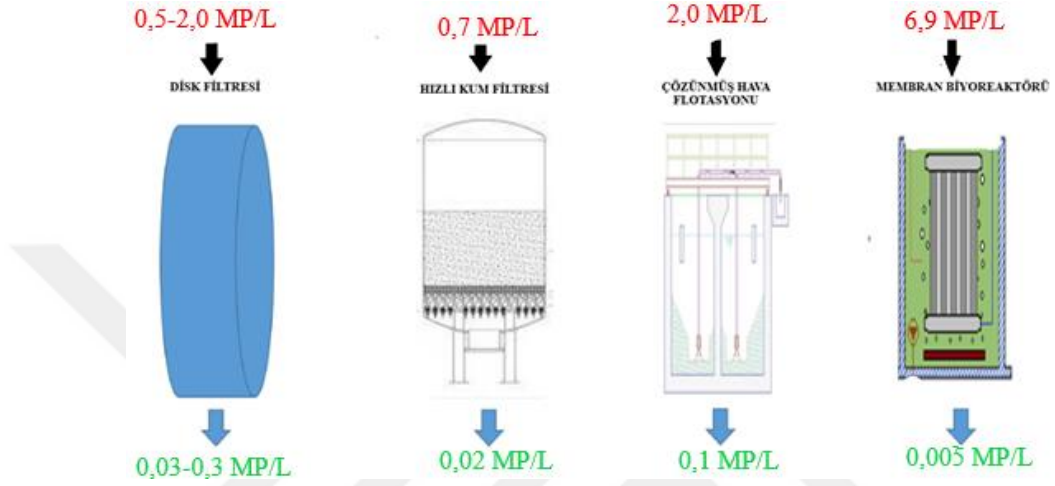
Atıksu arıtma tesislerinden nehirlerle günde 0,25-447 MP/L mikroplastik salınımı gerçekleşmekte olup, işlenen atıksu miktarı dikkate alındığında ise günde 2-78 milyon MP'e karşılık geldiği, bu durum nehirlerde mikroplastiklerin bol miktarlarda olmasında kritik bir nokta olduğu tespit edilmiştir (Luo vd., 2023; Sun vd., 2019).

İskoçya'nın en büyük şehirlerinden biri olan 650.000 nüfusa sahip Glasgow'da bulunan Clyde Nehri'ne deşarj sağlayan ikincil arıtım yapan atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmada mikroplastiklerin %98,41 oranında gideriminin sağlandığı hesaplanmıştır. Ancak her ne kadar yüksek oranlarda giderim sağlansada alıcı ortama her gün 65 milyon mikroplastığın salındığı tespit edilmiştir (Murphy vd., 2016). Çin'de kıyı kenti olan Xiame'de 7 (yedi) ATT'de yapılan bir çalışmada %79,3-%97,8 oranlarında mikroplastik giderimi sağlandığı tespit edilmiştir (Long vd., 2019).

AAT'ler aracılığıyla salınan MP'ler sudaki besin ağına girerek balık yiyen kuşlar, insanlar dahil memeliler gibi daha yüksek organizmalara kadar çeşitli olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle artan mikro kirleticilerin etkili bir şekilde uzaklaştırılması için günümüz AAT'lerinde ek arıtma yapılması kaçınılmaz hale gelmiştir (Baresel ve Olshammar, 2019).

Mevcut atıksu arıtma tesisleri genellikle mikro kirleticileri temizleyemediğinden, çeşitli arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Modern arıtma tesisleri tarafından elde edilen etkili MP uzaklaştırma oranlarına rağmen, atık suyun litresi başına az miktarda mikroplastik salınımının bile önemli miktarlarda mikroplastiklerin çevreye girmesine neden olabileceğini de göstermiştir. Atıksu arıtma tesisleri mikroplastik kirliliğini belli bir dereceye kadar kontrol edilmesinde etkindir. Yenilikçi teknolojilerle su ekosistemlerinden mikroplastiklerin uzaklaştırılmasına yardımcı olmaktadır. Geleneksel atıksu arıtma tesisleri % 90 ile % 98 aralığında mikroplastikleri uzaklaştırmaktadır (Lares vd., 2018; Michielssen vd., 2016; Sharma vd.,2023).

Üçüncül arıtım yapan Membran Biyoreaktör (MBR) teknolojilerinde MP'lerin %99,9'u, ikincil arıtım teknolojilerinden (disk filtre, hızlı kum filtrasyonu ve çözünmüş hava flotasyonu) içeren tesislerde MP'lerin sırasıyla %40-98,5'ini, %97'sini, %95'inin giderildiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada gelişmiş son aşama atıksu arıtma teknolojileri ile su ortamlarına deşarj edilen MP kirliliğinin önemli ölçüde azaltılabileceğini göstermektedir (Taltive vd., 2017a) (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Gelişmiş atıksu arıtma teknolojilerinde MP giderim verimliliği (Taltive vd., 2017a)

Su kaynaklarının iklim değişikliğinin etkileriyle kısıtlı hale gelmesi atıksuların iyi bir arıtım teknolojisiyle arıtılarak kullanılmasını ön plana çıkarmıştır. Mikroplastikler, farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle çeşitli arıtma teknolojileriyle farklı şekilde etkileşime girerler ve bu da farklı giderim verimliliğini sonuçlarını ortaya çıkarmaktadır (Ahmed vd., 2024). Membran filtrasyon teknolojisi bunun en iyi örneğidir. Atıksu arıtma tesislerinde gelişmiş membran teknolojisinde membranların gözenek boyutlarının çok küçük olması sebebiyle MP'leri tutma kapasitesi yüksektir. Üçüncül arıtım teknolojilerinde Askıda Katı Madde (AKM), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve besinsel elementlerin uzaklaştırılmasını sağlamak için koagülasyon, nitrifikasyon-denitrifikasyon ve membran filtrasyonu gibi farklı proseslere rastlanılır. Bu prosesler vasıtasıyla MP'lerin çoğunun giderilebildiği tespit edilmiştir (Ma vd., 2019). Ancak arıtma çamurları önemli bir kirlenici kaynağıdır.

AAT’lerde çıkan arıtma çamurları anaerobik çürütücülerde enerji ve susuzlaştırma için işleme tabi tutulurlar. Kurutulmuş çamurlar daha sonra işlenerek kompostlanma alanı ve yeşil alanlarda kullanılır. Bu durum mikroplastiklerin toprağın yapısına girmelerine neden oluşturur (Talvitie vd., 2017b).

2.1.4. Mikroplastik ve polimer yapısı

Günlük yaşantımızda kullandığımız plastikler pekçok farklı polimer yapısına sahiptir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Polimerler ve kullanım alanları (PlasticEurope, 2019).

Polimer	Kullanım Alanları
Polietilen (PE)	Mutfak gereçleri, plastik kutular, yalıtım malzemeleri vb.
Polivinil Klorür (PVC)	Kapı, pencere malzemeleri, hortum ve su boruları, elektrikli kabloları vb.
Polipropilen (PP)	Keçe, iplik, çuval malzemeleri, filtre bezleri vb.
Polistiren (PS)	Plastik tabak, çatal, bardak, plastik oyuncak vb.
Polietilen teraftalat (PET)	Meyve suları kapları, temizlik malzeme kapları vb.

Atıksularda bulunan polimer tiplerinin bilinmesi nihai varış noktası olan denizler için potansiyel etki açısından önem taşımaktadır (Akarsu vd., 2020). Gıda, ambalaj malzemeleri, plastik şişeler, plastik çatal bıçak gibi ürünlerde dahil olmak üzere birçok gündelik tüketim malzemesi polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polistiren (PS) polimer türevlerinden yapılır (Lares vd., 2018; Mintenig vd., 2017; Talvitie vd., 2017b). Polietilen teraftalat (PET), poliamid (PA) ve Polyester (PES)’ler genellikle evlerden gelen tekstil ve sentetik giysilerden kaynaklanmaktadır (Hernandez vd., 2017; Sun vd., 2019; Wei vd., 2020). PE, PP, PS ve PES gibi mikroplastiklerin potansiyel kaynakları arasında lastik ve tekstil endüstrileri bulunur (Hidayaturrahman vd., 2019; Talvitie vd., 2017a). Güneş ışınları ile fotodegradasyon yoluyla plastikler parçalanır ve parçalanma evresinden sonra fiziksel, biyolojik nedenlerle çok daha küçük boyutlara bölünerek yapıları uzun yıllara dayalı sürelerle bozunuma uğrarlar.

Bu bozunma yüzlerce yıl sürebilir ve bunun belirlenmesinde polimer türleri, kalınlıkları, çevreyle olan ilintileri ve boyutları önemlidir (Atakan vd., 2019; Rainieri ve Barranco, 2019).

Evsel atıksu arıtma tesisleri ağırlıklı olarak giysilerden salınan PA, PET ve PES mikroplastikleri içerir. PE, PP, PS ve PVC arıtma tesislerinde bulunan başlıca polimer türleridir. (Acarer, 2023; Gündoğdu vd., 2018).

Dialil fitalat (DAP), Polikaprolakton (PCL), akrilonitril stiren akrilat (ASA) gibi polimerler ise endüstriyel nitelikli atıksu arıtma tesislerinde karşımıza çıkmaktadır (Acarer, 2023).

Mikroplastiklerin polimer türü mikroplastikleri doğrudan etkiliyor olması mikroplastiklerin çökmesine etkindir. PA, PS ve PES yüksek yoğunluklu plastikler olması sebebiyle AAT'lerde çamurda birikim sağlamaktadır. Öte yandan PE gibi düşük yoğunluklu mikroplastikler de literatürde yer almaktadır (Lares vd., 2018; Acarer, 2023).

Yapılan bir çalışmada atıksu arıtma tesislerine giren atıksularda PE, PP ve PS en yaygın polimer türleri olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte arıtım sonrasında PE %98,3 ve PP ise % 92,55 oranında giderim sağlandığı tespit edilmiştir (Wu vd., 2024). Ülkemizde Adana ilinde bulunan Seyhan ve Yüreğir AAT'lerinde yapılan çalışmada Raman analizi sonucunda arıtma tesisi çıkış sularında Seyhan AAT'de %43,8 Yüreğir AAT'de ise %68,8 oranında PES polimer türünün tespitinin yapıldığı, sırasıyla PE ve PP gibi polimerlerinde yüksek oranlarda bulunduğu tespit edilmiştir (Gündoğdu vd., 2018). Mikroplastikler türlerine, kimyasal emilimlerine, bileşim sağladıkları kimyasallara bağlı olarak olumsuz etkilere sahiptir. Örneğin kanserojen etkiye sahip PVC içme suyunu taşıyan boruların yapı taşıdır (Rochman vd., 2013).

2.1.5. Mikroplastiklerin canlılara etkisi

Plastikler insan sağlığında, doğanın ekolojik dengesinin bozulmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarının azalmasında önemli bir tehdit unsurudur. Özellikle 1900'lü yılların başından itibaren mikroplastiklerin ekosistemlerdeki varlığı tespit edilmiştir (Almas vd., 2022; Turner vd., 2019).

Plastiklerin üretimi ve tüketiminde artışlarının bu hızla devam etmesi halinde 2050'li yıllara gelindiğinde dünyada kullanılan petrolün %20'sinin azalmasına neden olacağı belirtilmiştir (Çağlayan vd.,2020).

Mikroplastikler hem karasal hem sucul hem de atmosferik ortamlarda yaygın bulunmalarından dolayı birçok canlının mikroplastiklere maruz kalmasına neden olmaktadır. Ancak mikroplastiklerin etkileri tam olarak anlaşılamamıştır. Doğrulanmış, hızlı ve basit metodolojilere ihtiyaç duyulmaktadır (Prata vd., 2019). Midyeler üzerine yapılan deneylerde mikroplastiklerin bağırsaklarda biriktiği tespit edilmiştir (Browne vd., 2008).

Yarı kapalı deniz olan Karadeniz'e komşu ülkelerin nehirlerden kaynaklı yüksek miktarlarda mikroplastiklerin deşarjları göz önüne alındığında, Karadeniz'in plastik kirliliği riski oldukça yüksektir. Karadeniz'de yapılan bir çalışmada balıkların MP'leri yuttuğu ve birçok deniz canlısının MP'lere maruz kaldığı gözlenmiştir (Aytan vd., 2016).

Marmara Denizi'nde yapılan çalışmada İzmit Körfezi'ndeki balık türlerinde plastiklere rastlanması ekosistem ve insan sağlığı açısından potansiyel risk oluşturmaktadır (Aytan vd., 2023). Plastikler son derece dayanıklıdır ve biyolojik sonuçlarını belirlemek için geniş yelpazelerde çalışmalar yapılmalıdır

Mikroplastiklerin halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini gösteren çeşitli birçok çalışma yapılmıştır. Son yıllarda şişe sularında, arıtmaya tabi tutulan içme sularında göl sularında vb. sularda yapılan çalışmalarda mikroplastiklere rastlanılmıştır (Çakmak ve Acaröz, 2021; Mintenig vd., 2019; Wang vd., 2020).

Doğal yaşam alanlarında canlıların sindirim sistemlerinde mikroplastik parçacıklar tespit edilmiştir. Bu durum mikroplastiklerin insan sağlığı üzerine olası olumsuz etkileri hakkında da tartışmaları beraberinde getirmektedir. Oluşan risklerin değerlendirilebilmesi için maruz kalma yolları ve konsantrasyon miktarları önem teşkil etmektedir (Mintenig vd., 2019).

MP'lerin insan sağlığına olan doğrudan etkilerine yönelik çalışmalar sınırlı olmasına karşın plastiğin oluşumu sırasında kullanılan kimyasalların ortama salınıyor olması nedeniyle risk oluşturma potansiyeli bulunmaktadır (Amobonye vd., 2021).

İnsanlar mikroplastikleri yutma, soluma (inhalasyon), deri, havadan, gıdalardan ve kullanılan ürünlerden maruz kalmaktadır. Mikroplastiklere maruziyet oksidatif stres oluşumu, sentetik parçacıkları bağışıklık sisteminin uzaklaştıramaması gibi kronik hatalıklara yol açabileceği bildirilmiştir (Amobonye vd., 2021; Prata vd., 2020).

Plastik üretimine yönelik kullanılan bazı malzemeler doğası gereği toksiktir. Fenolik reçinelerin üretimi sırasında serbest fenol ve formaldehitler mevcuttur ve fenoller sindirim fonksiyonlarını bozma özelliğine sahip olup, karaciğer ve midenin de dejenerasyona uğramasına neden olmaktadır (Wei vd., 2020).

Genel olarak çoğunlukla suda yaşayan organizmalar üzerinde yoğunlaşmış suda yaşayan canlıların büyümesine ve gelişmesine engel teşkil ettiğine dair çalışmalar yapılmıştır (Aytan vd., 2023; Dong vd., 2023., Huang vd., 2020; Wang vd., 2020). Mikroplastiklerin insan hücreleri üzerinde oluşturduğu etkiler üzerine yapılan araştırmalarda, kansere neden olan stirenin sıcaklık etisiyle gıdalarla entegre olması nedeniyle insan hücrelerine zarar verebileceği rapor edilmiştir (Schirinzi vd., 2017; Wang vd., 2020).

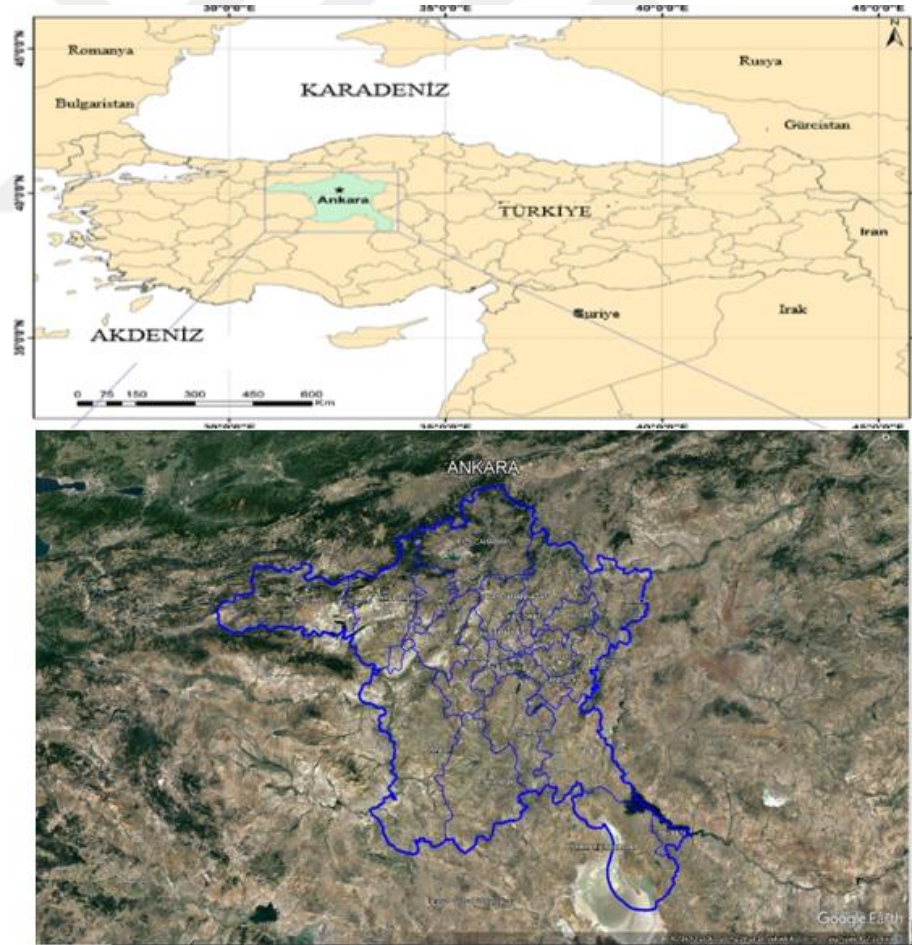
Ülkemizde Susurluk Nehri havzasında MP'lerin su ortamında bulunan zooplankton, balık ve midyeler üzerine yapılan bir çalışmada en yaygın mikroplastik türü olan fiberlerin daha çok rastlandığı tespit edilmiştir (Kankılıç vd., 2023).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda içme suyunda tespit edilen mikroplastiklerin varlığı insan sağlığında oluşabilecek risklere ilişkin endişeleri ortaya çıkarmıştır (Campanale vd., 2020). Havadaki MP'lerin karakterizasyonuna ilişkin yayımlanmış çok fazla makale bulunmamakla birlikte karasal ortamlarda, sucul ekosistemlerde bulunan MP'ler ile havada bulunan MP'lerin insan sağlığına olan etkileri karşılaştırılmıştır (Sridharan vd., 2021). Havada asılı halde bulunan mikroplastiklere maruz kalmak kaçınılmazdır. Asılı halde 5 µm'den küçük partiküller akciğerlere girebilir. Mikroplastikler hem karasal ortamlarda hem sucul alanlarda hem de atmosferik ortamlar da dahil olmak üzere ekosistemde her yerde tespit edilmiştir. Özellikle atmosferik ortamlarda bulunan mikroplastiklere ait son yıllarda birçok çalışma yapılarak ilerleme kaydedilmiştir. Ancak çalışmalar hava ve toz arasındaki ilişkilerin araştırılmasıyla ayrı ayrı yürütülmüştür (O'Brien vd., 2023).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanının Özellikleri

Tez çalışmamızda mikroplastik yükünün tespiti için Ankara İli Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) hattı boyunca ve tesis giriş-çıkışlarından örneklemeler yapılmıştır. Yüzölçümü 25.632 km² olan Ankara İli 9 merkez, 16 çevre ilçeler olmak üzere toplamda 25 ilçe, bu ilçelere bağlı 1425 mahalleden oluşmaktadır (Şekil 3.1) (URL-5). TÜİK 2021-2022 yılları arası verilerine göre nüfus 5.782.285 olarak açıklanmıştır (URL-6). En yüksek nüfus yoğunluğu Çankaya, Yenimahalle, Etimesgut ve Altındağ ilçeleridir (Şekil 3.2). Yapılan bu tez çalışmasında çalışma alanındaki mevcut mikroplastik yükünü ortaya koymak amacıyla nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu olduğu ilçeler göz önünde bulundurularak örneklemeye istasyonları tercih edilmiştir.

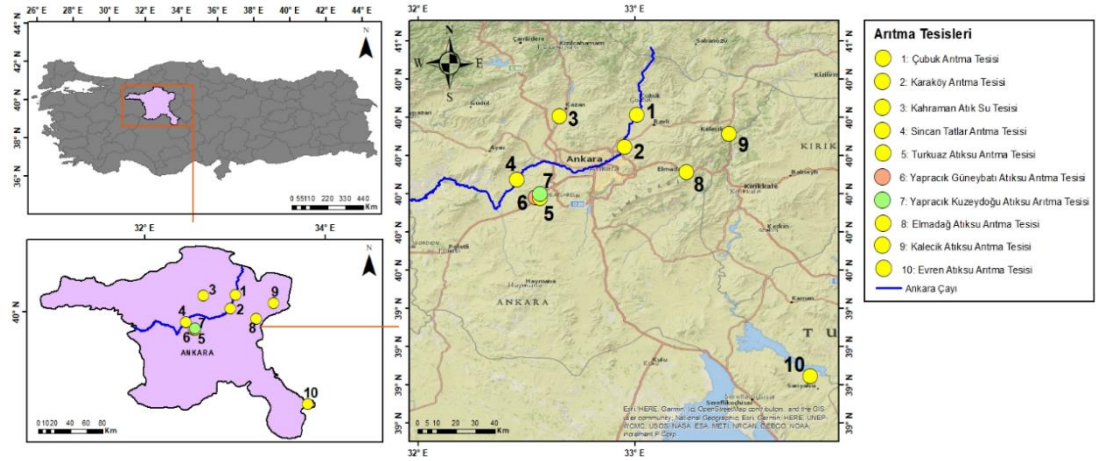


Şekil 3.1. Ankara ili ve ilçeleri (URL-5).



Şekil 3.2. Ankara ilinin ilçelere göre nüfus dağılımı (URL-6).

Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü'nün (ASKİ) resmi sitesi ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan 2015-2023 dönemini kapsayan Atıksu Arıtımı Eylem Planı'nda yer alan bilgilere göre Ankara ilinde 11 ilçede 15 adet atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır (Çizelge 3.1., Şekil 3.3). Atıksu arıtma tesislerinden çıkan atıksular Kızılırmak ve Sakarya havzalarına deşarj edilmektedir. Deşarjı yapılan atıksularda bulunan MP'ler Kızılırmak ve Sakarya nehirleriyle birlikte denizlerimize kadar ulaşabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3.3. Ankara ili genel atıksu arıtma tesisleri.

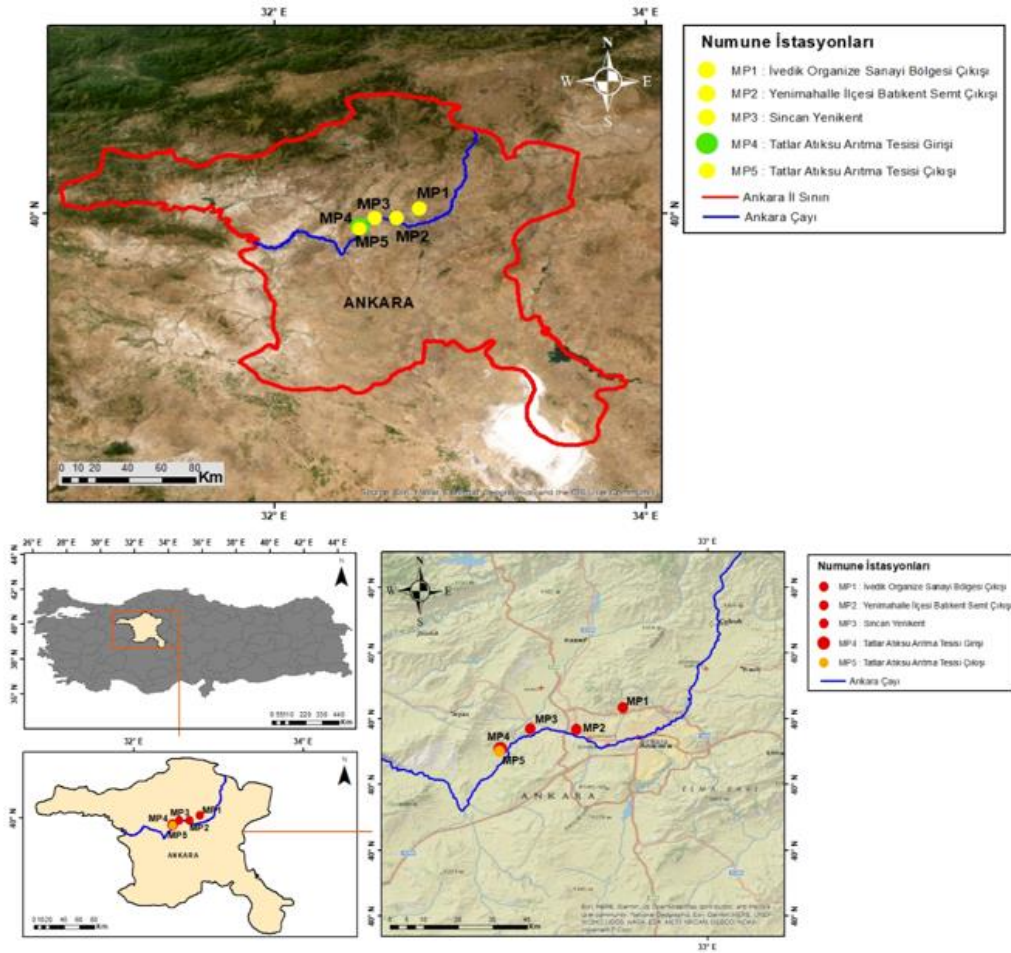
Çizelge 3.1. Ankara ili arıtma tesisleri (URL-7).

İlçe	AAT Adı	Arıtma Türü	Havza
Akyurt	ASKİ Karaköy AAT	İleri Arıtma	Sakarya
Ayaş	ASKİ Ayaş-Sinanlı AAT	İleri Arıtma	Sakarya
Çamlıdere	Çamlıdere AAT	Paket Arıtma	Sakarya
Çubuk	ASKİ Çubuk AAT	İleri Arıtma	Sakarya
Elmadağ	ASKİ Elmadağ AAT	İleri Arıtma	Kızılırmak
Elmadağ	Hasanoğlu AAT	İleri Arıtma	Kızılırmak
Elmadağ	Lalahan AAT	İleri Arıtma	Kızılırmak
Evren	ASKİ Evren AAT	Fiziksel Biyolojik	Kızılırmak
Gölbaşı	Karagedik AAT	Paket Arıtma	Sakarya
Kalecik	ASKİ Kalecik AAT	İleri Arıtma	Kızılırmak
Kazan	ASKİ Kazan AAT	İleri Arıtma	Sakarya
Nallıhan	Nallıhan AAT	Fiziksel Biyolojik	Sakarya
Nallıhan	Çayırhan AAT	Fiziksel Biyolojik	Sakarya
Sincan	ASKİ Tatlar AAT (MERKEZ)	Fiziksel Biyolojik	Sakarya
Yenimahalle	Turkuaz AAT	Fiziksel Biyolojik	Sakarya

Tez çalışmamızda mikroplastik yükünün tespiti için Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi (AAT) “Kuzey Kuşaklama Hattı” üzerinden evsel, endüstriyel hem evsel hem de endüstriyel alanları temsil eden üç atıksu taşıyıcı kolektör bacası ile Tatlar Atıksu Arıtma Tesis giriş ve arıtma çıkış suyu olmak üzere toplam 5 numune alma noktası seçilerek örnekler alınmıştır (Çizelge 3.2., Şekil 3.4).

Çizelge 3.2. Atıksu numune örneklem istasyon koordinatları.

Alan Adı	İstasyon Numarası	Enlem	Boylam
İvedik Organize Sanayi Bölge Çıkışı	MP1	39°59'8.68''K	32°43'45.57''K
Batıkent Semti Çıkışı	MP2	39°57'24.54''K	32°42'20.31''K
Sincan İlçe OSB Çıkışı	MP3	39°58'0.68''K	32°33'23.53''K
Arıtma Tesisi (Tatlar AAT) Girişi	MP4	39°53'54.64''K	32°27'12.61''K
Arıtma Tesisi (Tatlar AAT) Çıkışı	MP5	39°53'38.25''K	32°27'48.32''K



Şekil 3.4. Numune alınan istasyonlara ait genel görünüm.

Örnekleme yapılan istasyonlar ASKİ'ye bağlı Yenimahalle İlçe Şefliği, Etimesgut İlçe Şefliği ve Sincan İlçe Şefliklerinden alınan atıksu kanal hatlarının haritaları doğrultusunda belirlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Yenimahalle, Etimesgut ve Sincan ilçesi kısım atıksu kolektör hatları.

Tatlar AAT'ye güney ve kuzey kuşaklama olmak üzere iki ana hat üzerinden atıksular ulaşmaktadır. Türkiye'nin en büyük atıksu arıtma tesisi olan Tatlar AAT 765.000 m³/gün kapasiteli "Klasik Aktif Çamur Prosesi" ile dizayn edilen kentsel nitelikli bir atıksu arıtma tesisidir.

Kanalizasyon kollektör sistemi vasıtasıyla 250 milyon m³/yıl atıksu arıtılıp Sakarya havzasına deşarj edilmektedir. Merkezi atıksu arıtma tesisi olan Tatlar AAT'ye il genelindeki kanalizasyon sisteminde toplanan atıksuların tamamı cazibe ile ulaşmaktadır.

3.2. Örnekleme İstasyonlarının Genel Tanımları

MP1 İstasyonu: Ankara'nın plastik üretiminin içinde bulunduğu Yenimahalle İlçesi sınırlarında yer alan İvedik Organize Sanayi Bölgesi çıkışıdır (Şekil 3.8). İvedik Organize Sanayi Bölgesi (OSB) 488 hektar üzerinde 420 imar adası ve 7.174 parselden meydana gelen bir alana sahiptir Endüstriyel atıksuların toplandığı ve plastik endüstrisini de içerisinde barındıran iş merkezlerinin ana hatta bağlandığı nokta seçilmiştir. Bu istasyon, özellikle plastik vb. mal ve malzemelerin çokça bulunduğu, endüstriyel bölgeden atıksu arıtma tesisine gelebilecek yükü temsil etmesi açısından tercih edilmiştir.



Şekil 3.6. İvedik Organize Sanayi Bölgesi yerleşim planı (URL-10).

İvedik OSB çıkışında yer alan bu istasyonda bulunan kollektör hattındaki bacanın boru çapı 1000 Ø ve derinliği 7,5 metredir. 10 L/s akış debisine sahip endüstriyel atık suların toplandığı ve plastik endüstrisini barındıran iş merkezlerinin de içerisinde yer aldığı bacadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.7. İvedik OSB, Hurdacılar Sitesi istasyonu (MP1).

MP2 İstasyonu: İnsan popölasyonunun yoğun olduğu Yenimahalle İlçesi'ne bağlı Demetevler-Batıkent güzergahlarının bulunduğu bölgedir (Şekil 3.10). Evsel nitelikli atıksuların taşındığı, evsel atıklardan kaynaklanan mikroplastiklerin tespit edilmesi amacıyla seçilmiş örnekleme noktasıdır. Yenimahalle ilçe nüfusunun yaklaşık yarısı orta, orta-üst gelir grubu insanlardan oluşmaktadır.



Şekil 3.8. Batıkent Mahallesi yerleşim planı görüntüsü (URL-5).

Yenimahalle İlçesi Batıkent mevkii kollektör hattındaki baca 600 Ø boru çapında ve derinliği 6,5 metredir. 5 L/s akış debisine sahip istasyondan alınan evsel nitelikli atıksu örnekleri değerdendirilerek çalışmalar yapılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.9. Batıkent -Yenimahalle istasyonu (MP2).

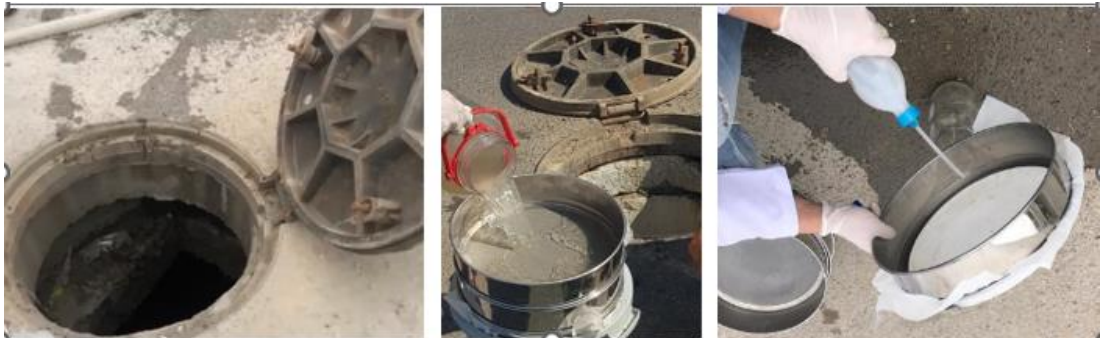
MP3 İstasyonu: Ankara İli Sincan İlçe sınırlarında yer alan hem endüstriyel bölge olan Sincan Organize Sanayi Bölgesi hem de yerleşim yerleri bulunan insan popülasyonunun yoğun olduğu bölge tercih edilmiştir.

Sincan ilçe sınırlarında bulunan Sincan Organize Sanayi Bölgesi (Ankara Sanayi Odası 1. Organize Sanayi Bölgesi) ülkemizin önde gelen Organize Sanayi bölgelerindendir. 2000 hektar alan üzerine kurulmuş bölgede çevre, ulaşım, enerji, bilgi işlem gibi 281 adet irili ufaklı işletme bulunmaktadır. (Şekil 3.12).



Şekil 3.10. ASO 1. OSB yerleşim planı (URL-9).

Hem evsel hem de endüstriyel atıkların bir arada bulunduğu bölgedeki kollektör hattındaki bacanın boru çapı 1800 Ø ve derinliği 12,5 metre boyutlarındadır. 25 lt/sn akış debisine sahip bacadan evsel ve endüstriyel atıksular bir arada geçiş sağlamaktadır (Şekil 3.13).



Şekil 3.11. Sincan istasyonu (MP3).

MP4 ve MP5 İstasyonları: Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkışında bulunan kollektörlerden numuneler alınarak örnekleme istasyonları tamamlanmıştır.

Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi: Tatlar AAT Sincan İlçesi, Tatlar Köyü Mevkiinde yer almaktadır. Arıtılan suyun deşarj yeri Ankara Çayı olup, nihai deşarj yeri Sakarya Nehri'dir. İl geneli kanalizasyonda toplanan atıksuların tamamı tesise cazibe ile ulaşmakta olup herhangi bir pompa istasyonu kullanılmadan 182 hektar alan üzerine inşa edilmiştir. Tesis 2.000.000 m² açık alan 90.000 m² kapalı alana sahiptir. Ankara İlının atıksuyunun büyük bir kısmı merkezi atıksu arıtma tesisinde arıtılmaktadır (Şekil 3.14). Tesiste çamur stabilizasyonu sonrasında çıkan biyogaz elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Dönüştürölüp üretilen elektriğin %81'i arıtma tesisinin faaliyetleri ve idari binaların ısınması için kullanılmaktadır.



Şekil 3.12. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi genel görünüş (URL-7).

Atıksu arıtma tesisine gelen atıksuyun giriş noktası MP4 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.15). Giriş kollektör bacası betonarmeden yapılmış olup kanal ölçüleri 3,45 m x 4,6 m boyutlarındadır.



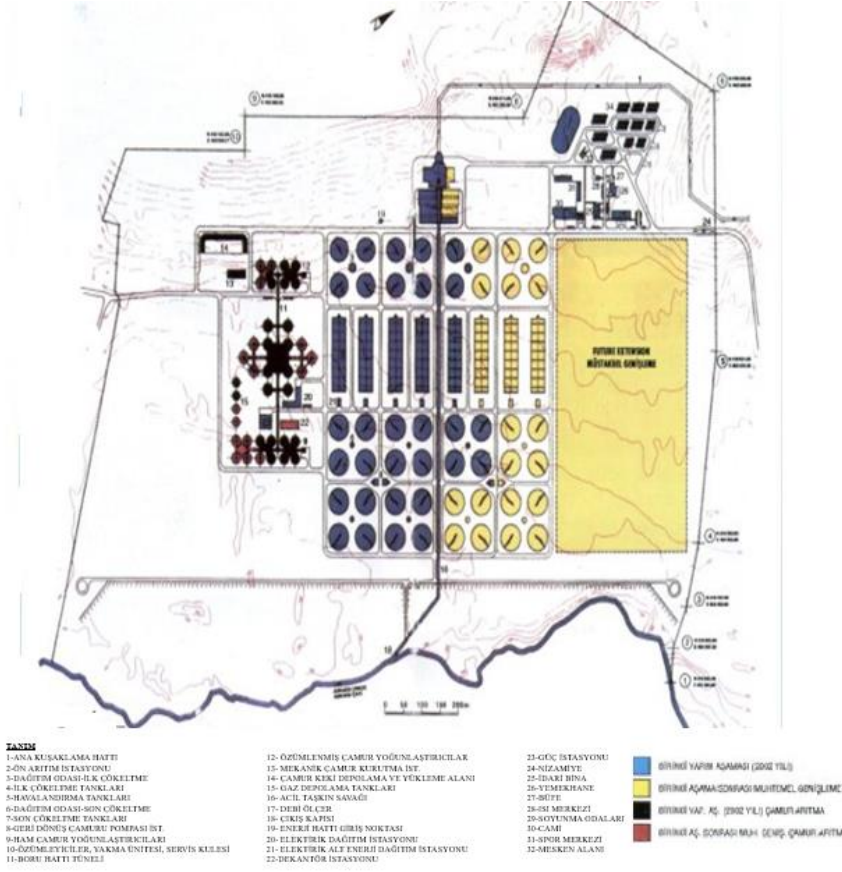
Şekil 3.13. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi girişı (MP4).

Atıksu arıtma tesisinin çıkış kollektörü MP5 istasyonu olarak belirlenmiştir (Şekil 3.16).

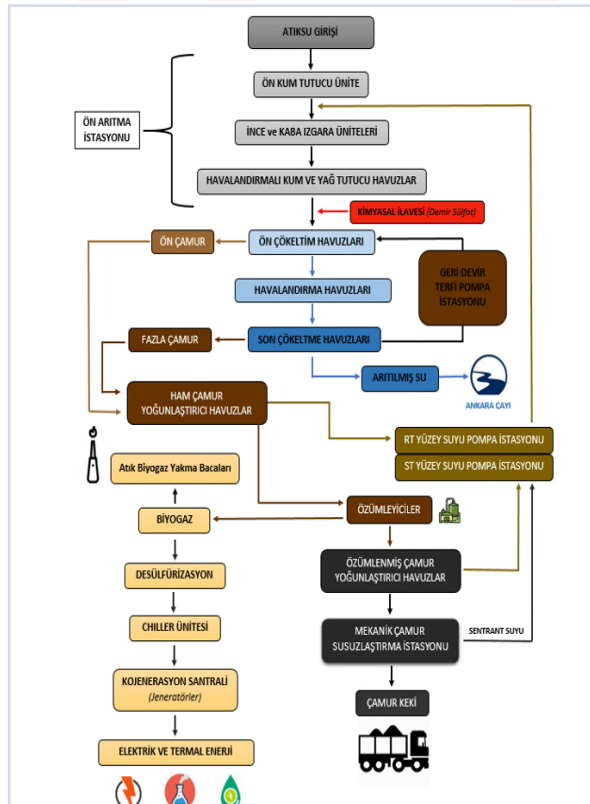


Şekil 3.14. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi çıkışı (MP5).

Atıksu arıtma tesisi vaziyet planına göre verilen tesis üç bölümden oluşmaktadır (Şekil 3.17). Tesisin iş akış şeması incelendiğinde su bölümü, çamur bölümü ve enerji bölümü olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3.18). Tüm proseslerden geçtikten sonra son çökeltme tanklarından savaklanan arıtılmış sular çıkış kanalında toplanarak Ankara Çayı'na deşarj edilmektedir.



Şekil 3.15. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi vaziyet planı (URL-7).



Şekil 3.16. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi iş akış şeması.

Tesisin bölümleri incelendiğinde su bölümü, ön kum tutucu ünite, kaba ve ince ızgaralar, kum tutucular, ön çökeltim tankları, havalandırma havuzları, son çökeltim tankları ve çamur geri dönüş pompa istasyonundan oluşmaktadır.

Ön kum tutucu ünitesi gelen atıksuyun taşıdığı fazla miktarlarda bulunan kum ve benzeri ağır maddelerin tutulduğu bölümdür.

Kaba ve ince ızgaralarda 40 mm'den büyük, ince ızgaralarda ise 15 mm'den büyük katı maddeler alınıp dolum istasyonunda konteynerlere boşaltılmaktadır.

Izgara yapısından geçen atıksu kum tutucu yapısına girmektedir. Kum tutucu bölümüne gelen atıksular ikiz şeklinde tasarlanmış olup kum tutucuların her biri 584 m³ hacme sahiptir. Her bir havuzda suyun bekleme süresi yaklaşık 11 dk.'dır. İnce kabarcıklı difüzörlerle donatılmış kum tutucu havuzlarında çökelen kum, gezer köprü ile toplanıp dalgıç pompalar vasıtasıyla kum ayırıcılara aktarılmakta ve burada kum ile suyun ayrılması sağlanmaktadır.

Havuzlardan uzaklaştırılan yüzen maddeler döner elekler (rotostrainer) vasıtasıyla tutularak konteynerlere gönderilmekte ve konteynerlere boşaltılan bu atıklar katı atık depolama alanına taşınarak bertaraf edilmektedir.

Tesiste 50 m çapında, 7.100 m³ hacme sahip toplam 10 adet bulunan dairesel tipte betonarme olarak yapılmış ön çökeltim tankları bulunmaktadır. Kum tutucudan çıkan su dağıtım odasından geçerek sudaki çökebilir katı maddelerin tutulduğu ön çökeltme tanklarına geçer. Ön çökeltme tankları dairesel durultma havuzları olup, hareketli köprüye bağlı sıyırıcılar vasıtasıyla koni şeklindeki havuz tabanına graviteli olarak çöken maddeler havuz odasındaki çamur haznesinde toplanarak ham çamur yoğunlaştırıcılarına gönderilir (Şekil 3.19). Ön çökeltme tankında atıksu yaklaşık 2 saat beklemektedir. Ön çökeltme tankında savaklanan su, geri dönüşten gelen aktif çamurla dağıtım odasında karıştırılarak biyolojik arıtma dengesi için havalandırma havuzlarına gönderilir.



Şekil 3.17. Ön çökeltim havuzları.

Her biri 153 m x 17 m boyutlarında, 13.005 m³ hacme sahip dikdörtgen tasarımlı toplam 10 adet yüzeysel havalandırmalı betonarme havuzlar bulunmaktadır. Biyolojik arıtma; doğada sucul ortamlarda bulunan mikroorganizmaların miktar ve aktivitelerinin uygun ortam koşulları oluşturacak yapay olarak hızlandırılması ve atıksudaki kirleticilerin bu organizmalar tarafından uzaklaştırılmasının sağlanması temeline dayanır (Şekil 3.20).



Şekil 3.18. Havalandırma havuzu.

Tesiste ikincil arıtma olarak yüzeysel havalandırmalı klasik aktif çamur sistemi uygulanmaktadır. Heterotrof aerobik mikroorganizmalardan oluşan biyokütlenin (aktif çamur) gereksinim duyduğu oksijen, yüzeysel havalandırıcılar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Çözünmüş ve askıdaki organik maddeler mikroorganizmalar tarafından besin olarak tüketilerek sudan uzaklaştırılmaktadır.

Yüzeysel havalandırıcıların diğ er bir işlevi de aktif çamur ile atıksuyu tamamen karıştırarak katı maddeleri askıda tutmak ve organizmaların besin maddeleriyle en y uksek düzeyde temasını sağlamaktır. Havalandırma havuzlarında atıksuyun bekleme s uresi yaklaşık 4 saattir. Havuzlarda su seviyesi ve dolayısıyla havalandırıcıların batma derinliği otomatik olarak ayarlanabilir bir çıkış kapağı ile düzenlenir.

Son   keltim tankları ve çamur geri dönüş pompası toplam 20 adet bulunan dairesel tipte beton havuz yapılarıdır. Her biri 55 m çapında, 8.400 m³ hacme sahiptir. Son   keltme tankları aktif çamurun arıtılmış sudan uzaklaştırılmasına yarayan konik tabanlı dairesel durultma tanklarıdır. Gezer köprüye bağlı sıyırıcılar sayesinde, çöken aktif çamur önce havuz ortasındaki çamur toplama konisine, sonra da geri dönüş pompa istasyonuna ulaşır. Aktif  amurun belirli bir oranı, havalandırma havuzundaki aktif çamur konsantrasyonunu istenilen seviyede tutmak için, önce ilk çökeltme tanklarının dağıtım yapısına, buradan da havalandırma havuzlarının başına gönderilir.

Aktif  amurun artan kısmı fazla çamur olarak ham çamur yoğunlaştırıcılarına gönderilir. Sistemden uzaklaştırılan bu çamur, teorik olarak giderilen kirliliğe, sistemde yeni oluşan biyokütle miktarına eşittir.

Son   keltme tanklarında atıksuyun bekleme s uresi yaklaşık 4 saattir. Son   keltme tanklarından savaklanan arıtılmış sular çıkış kanalında toplanarak Ankara  ayı'na deşarj edilmektedir (şekil 3.21).



şekil 3.19. Ankara  ayı'na deşarj edilen alan.

Çamur bölümünde ham çamur yoğunlaştırıcılar, özümleyiciler, özümlenmiş çamur yoğunlaştırıcılar ve mekanik susuzlaştırma ünitesi bulunmaktadır.

Tesiste her biri 25 m çapında, 1.964 m³ hacme sahip toplam 10 adet ham çamur yoğunlaştırıcı bulunmakta olup, dairesel tipte yapılmış betonarmelerden oluşmaktadır. Ön çökeltme tanklarından gelen ortalama % 2-3 kuru madde içeren ön çamur ile son çökeltme tanklarından gelen ortalama % 1 kuru madde içeren fazla çamur, ham çamur yoğunlaştırıcılarına alınarak yer çekiminin etkisi ile çökerek ortalama %5 oranında kuru madde içerecek şekilde yoğunlaştırılır. Konik şeklindeki tabanda biriken çamur, sıyrıcılar tarafından tankın merkezindeki hazneye toplanır ve buradan pozitif deplasmanlı çamur pompalarıyla özümleyicilere gönderilir. Yoğunlaşma esnasında çamurdan ayrılarak yüzeyde oluşan su tabakası (supernatant) ise savaklardan taşırılarak arıtım için tesis giriş yapısına pompalanır.

Her birinin 11.250 m³ hacme sahip toplamda 8 adet özümleyici bulunmaktadır (Şekil 3.22). Tesiste 25 m çapında 1.964 m³ hacme sahip 8 adet betonarme yapıda özümlenmiş çamur yoğunlaştırıcı bulunmaktadır



Şekil 3.20. Özümleyici üniteler.

Anaerobik özümleyicilerden çıkan çamur, mekanik susuzlaştırma ünitesine gönderilmeden önce yoğunlaştırma tanklarında bekletilerek %5-6 oranında kuru madde içerecek şekilde yoğunlaştırılır.

Yüzeyde oluşan su tabakası savaklardan taşarak arıtım için tesis giriş yapısına pompalanır. Çalışma prensibi ham çamur yoğunlaştırma tankları ile aynıdır. Mekanik sıyrıcıların yardımıyla tankın dibindeki çamur haznesinde toplanan yoğunlaştırılmış çamur pompalarla mekanik susuzlaştırma ünitesine gönderilir.

Mekanik susuzlaştırma ünitesi tesiste toplam 5 adet olup (2x85 m³/sa ve 3x75 m³/sa kapasiteli) santrifüj dekantörler mevcuttur. Özümlemiş çamur yoğunlaştırıcılardan gelen çamur, polimer (katyonik polielektrolit) ilave edilerek şartlandırıldıktan sonra santrifüj dekantörlerden geçirilerek susuzlaştırılır. Bu şekilde elde edilen ve % 30-35 oranında kuru madde içeren çamur keki (biyokatı) taşıyıcı bantlar vasıtasıyla kamyonlara yüklenir. Kamyonlara yüklenen çamur keki Çadırtepe Düzenli Katı Atık Depolama Sahasında biyokatı için özel hazırlanmış bölüme nakledilerek depolanmaktadır (Şekil 3.23).



Şekil 3.21. Çamur keki.

Tesiste son bölüm enerji bölümüdür. Bu bölümde kojenerasyon santrali, desülfürizasyon ünitesi, chiller ünitesi bulunmaktadır. Sistemik çalışma yapılması esnasında kontrol odası mevcut olup bu odada tesis işleyişinde meydana gelebilecek arızaların çözümünde rol oynamaktadır.

3.3. Atıksu Numunelerinin Su Kalite Parametreleri

Atıksu arıtma tesislerinden çıkan atıksuyun niteliği hakkında bilgi edinmek amacıyla tez çalışması kapsamında MP1, MP2, MP3, MP4 ve MP5 istasyonlarından örnekler alınmıştır. Tüm atıksu numuneleri uygun koşullarda Ankara Su Kanalizasyon İdaresi (ASKİ) Genel Müdürlüğü laboratuvarlarına taşınmıştır. Atıksuyun fiziksel-fiziko kimyasal ve mikrobiyolojik su kalite parametreleri Çizelge 3.3’de verilen metotlarla değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.3. Parametrelere ait analiz metotları.

Parametre	Metot
Elektriksel İletkenlik	TS 9748 EN 27888
Nitrat (NO ₃)	SM 4110 B
Nitrit (NO ₂)	SM 4110 B
pH	TS EN ISO 10523
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	SM5220 B
Biyolojik Oksijen İhtiyacı	SM5210 D
Toplam Azot	ISO 29441
Toplam Fosfor	TS EN ISO 15681-2
Askıda Katı Madde	TS EN 872
Fekal Koliform	SM 9223 B

Sonuçlar Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Atıksu Arıtma Tesisi Teknik Usuller Tebliği, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği ve Sulama Sularının Kalitesi ve Kullanılmış Suların Yeniden Kullanılması Hakkında Yönetmelikler çerçevesinde değerlendirilmiştir (Bayraktar ve Erkmen, 2023).

3.4. Mikroplastik Örnekleme Çalışmaları

Bu tez çalışmasında; evsel, endüstriyel, hem evsel hem de endüstriyel alanları temsil eden Ankara atıksu arıtma hattı üzerinde üç atıksu taşıyıcı kolektör bacasından, Tatlar Atıksu Arıtma Tesis girişi ve arıtma çıkışından olmak üzere toplam 5 numune noktasından atıksu örnekleri alınmıştır. Mikroplastik türlerinin mevsimsel değişimlerini tespit etmek amacıyla kurak ve yağışlı dönemi temsil edecek şekilde iki örnekleme yapılmıştır. İlk örneklemeler yağışlı (Nisan-2022), ikinci örneklemeler ise kurak (Ağustos-2022) dönemi içerisinde alınmıştır. Örneklerin alındığı bu tarihler Meteoroloji Genel Müdürlüğü resmi sitesinden Ankara ilinin geçmiş yıllarda en çok yağış aldığı ve en kurak olabileceği ortalama sıcaklık değerleri göz önünde bulundurularak saptanmıştır (URL-8). Yıllık meteorolojik veriler değerlendirildiğinde yağışın bol olduğu zamanlar ortalama sıcaklığın düşük olduğu zaman dilim ile sıcaklığın en yüksek olduğu zaman dilimleri belirlenerek su numuneleri alınmış, analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Ankara iline ait yıllık meteoroloji verileri (URL-8).

	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama En düşük- En yüksek Sıcaklık (°C)	Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	Aylık Yağış Miktarı Ortalaması (mm)
Ocak	0,9	-2,2-4,7	11,67	38,6
Şubat	2,7	-1,2-7,4	10,90	36,6
Mart	6,7	1,9-12,2	10,47	46,9
Nisan	11,5	6,0-17,5	11,63	44,5
Mayıs	16,5	10,5-22,8	12,00	51,0
Haziran	20,6	14,1-31,0	9,27	40,2
Temmuz	24,2	17,2-31,0	3,37	14,8
Ağustos	24,3	17,4-31,0	3,67	14,6
Eylül	19,6	13,1-26,5	4,17	17,9
Ekim	13,9	8,4-20,3	7,63	33,4
Kasım	7,3	8,4-13,0	7,67	31,9
Aralık	2,8	-0,3-6,7	11,27	43,2
Yıllık	12,6	7,3-18,4	103,7	413,6

Mikroplastik örneklemeleri istasyon bacalarında standart olabilmesi için saat 11:00'de başlatılmış ve bacaların derinliği de göz önüne alınarak dalgıç pompası (Water Sound 4SKM 150, İzmir) yardımıyla 3 tekrarlı olarak alınmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.22. Dalgıç pompa.

Pompa yardımıyla alınan atıksu örnekleri 10 litrelik cam kaplara aktarılmıştır. Alanda 300, 100 ve 10 µm gözenek boyutlarına sahip çelik elek sistemi kullanılarak kademeli filtrasyon işlemi ile örnekleme sahalarında gerçekleştirilmiştir. Süzülen numunelere saf su ile yıkama işlemi yapılmış, laboratuvara taşınmak üzere 1 litrelik cam kavanozlara alınmıştır (Şekil 3.25., Şekil 3.26).

Herhangi bir kontaminasyon oluşmaması ve atıksu ile çalışılması sebebiyle çalışma sırasında patojenlerin etkilerine maruz kalınmaması için %70 izopropil alkol kullanılmıştır. Atıksu örneklerinin ağızları sıkıca kapatılarak güneş ışığına maruz bırakılmadan laboratuvara götürülmüştür.



Şekil 3.23. Örneklerin elek sisteminden geçirilmesi.



Şekil 3.24. Örnek kavanozları.

3.6. Laboratuvar Çalışmaları

Örnekler herhangi bir patojen kontaminasyonuna neden olmaması için izopropil alkol ile sabitlendikten sonra laboratuvar işlemlerinin yapılabilmesi için Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü Araştırma Laboratuvarı'na götürülmüştür.

Numuneler alkolün giderimi için saf su ile yıkama işlemi ardından çelik eleklerden süzülerek 100 ml'lik cam beherlere aktarılmıştır. Mikroplastiklerin ekstrasyonu için literatürde yaygın olarak kullanılan ıslak peroksit oksidasyonu (WET) yöntemi kullanılarak organik materyallerin giderilmesi sağlamak için %30 luk H_2O_2 içeren 20 ml hidrojen peroksit ile 20 ml 0,05 M $Fe(II)SO_4$ çözeltisi olan Fenton reaktifi ile oksidasyonu sağlanıp, 45 °C'de manyetik ısıtıcılı karıştırıcı yardımıyla çeker ocakta mevcut örneklerdeki organik giderimi sağlanmıştır (Dyachenko vd., 2017, Masura vd., 2015) (Şekil 3.27).



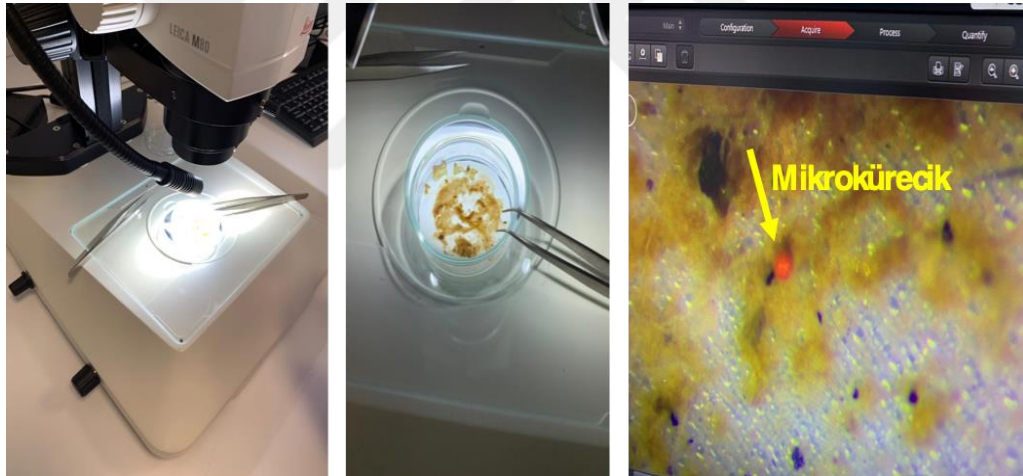
Şekil 3.25. Organik giderim işlemleri.

Organik giderim sağlanana kadar ilave peroksit uygulaması yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra, numuneler 10 mikronluk elekbezi kullanılarak çelik vakumlu filtrasyon sisteminden (Rocker 400 vacuum pump) süzildükten sonra cam petrilere alınmıştır (Şekil 3.28).



Şekil 3.26. Vakumlu filtrasyon sistemi.

Petri kaplarındaki örnekler etüvde (Memmert, Almanya) 45 °C'de 1 gün etüvde kurutmaya bırakıldıktan sonra stereomikroskop (Leica M80, İsviçre) altında şekillerine, boyutuna ve renklerine göre sınıflandırılmaları yapılmıştır (Şekil 3.29).



Şekil 3.27. Stereomikroskop altında yapılan inceleme.

Mikroplastiklerin tiplerine (fiber, fragment-parçacık, film, mikroboncuk, köpük), boyutlarına (10-100 μm , 100-300 μm , ve >300 μm) ve renklerine (siyah, mavi, kırmızı, sarı, yeşil, kahverengi, turuncu, beyaz, şeffaf) göre sınıflandırmaları yapılmıştır. Seçilen örneklerin polimer yapılarının karakterizasyonu için Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisinden faydalanılmıştır. Bu amaçla analizler Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde ATR-FTIR spektrometresi (Perkin Elmer, Spektrum Two uATR) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Mikroplastiklere ait spektrumlar Spectrum IR (Perkin Elmer) yazılımı kullanılarak 4000-400 cm^{-1} dalga numarası aralığında 4 cm^{-1} çözünürlükte kaydedilmiştir. Elde edilen spektrumlar pik analiz yöntemi incelenerek polimer yapıları belirlenmiştir.

3.7. Kalite Kontrol Çalışmaları

Laboratuvar ortamında çalışma sırasında herhangi bir kontaminasyon olup olmadığının anlaşılması için tezgahın üzerine konulan petri, stereomikroskop altında incelenmiştir. (Şekil 3.30). Çalışmalar sırasında kontaminasyonun engellenmesi için pamuklu laboratuvar önlükleri kullanılmış, nitril eldiven tercih edilmiştir. Tüm malzemeler saf su ile yıkanarak korunaklı hale getirilerek, %70'lik etanol çözeltisi ile çalışma alanı temizlenmiş, sonrasında kontaminasyon görülmemiştir.



Şekil 3.28. Çalışma alanı kontaminasyon görüntüsü.

3.8. İstatiksel Analizi Çalışmaları

Bu çalışmadan elde edilen veriler, SPSS-23 (The Statistical Package for The Social Sciences) programıyla değerlendirilmiştir. Değişkenler için ortalama, standart sapma, en küçük ve en büyük değerler, medyan olarak verilmiştir. Gözlem sayısı az olduğu için parametrik olmayan yöntemlerden yararlanılmıştır. Kurak ve yağışlı dönemlerde numuneler ve elekler arası farklılıklar Friedman testi ile incelenmiştir. Farklılık bulunan gruplarda ikili karşılaştırma yapılmış, düzeltilmiş p değerleri verilmiştir. Sonuçlar $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Atıksu Numunelerinin Su Analizi Sonuçları

Laboratuvara taşınan atıksu numunelerinin fizikokimyasal ve mikrobiyolojik parametrelerine bakılarak yağışlı ve kurak dönemde alınan atıksuların istasyonlara göre değerlendirilmesi yapılmış olup Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Atıksu analizi yağışlı dönem tablosu.

İstasyon No	EC (mS/m)	Nitrat (NO ₃) (mg/L)	Nitrit (NO ₂) (mg/L)	pH	KOİ (mg/L)	BOİ (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	AKM (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100ml)
MP1	175,4	0,09	0	7,2	737	399	6,93	0,44	74	>1250000000
MP2	106,8	0,26	0,007	8,1	79	19	15,61	0,97	77	408200000
MP3	173,6	0,019	0,036	8,5	277	149	118,35	1,94	246	>1250000000
MP4	131,5	0,297	0,003	7,9	265	139	41,04	1,49	127	408200000
MP5	123	78,4	0	7,4	7	1	19,81	1,41	7	11400000

Çizelge 4.2. Atıksu analizi kurak dönem tablosu.

İstasyon No	EC (mS/m)	Nitrat (NO ₃) (mg/L)	Nitrit (NO ₂) (mg/L)	pH	KOİ (mg/L)	BOİ (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	AKM (mg/L)	Fekal Koliform (EMS/100ml)
MP1	133	0,27	0,04	7,6	768	260	29,2	3,05	151	>200050
MP2	2530	3,45	0,01	7,1	7395	2588	37,5	3,73	1370	>20050
MP3	226	0,11	0,06	7,7	809	70	12,6	1,12	144	>20050
MP4	167,2	0,25	0,02	7,2	606	100	31,8	11,9	287	100
MP5	117,3	79,1	1,37	7,2	99	4	25,8	2,61	28	0

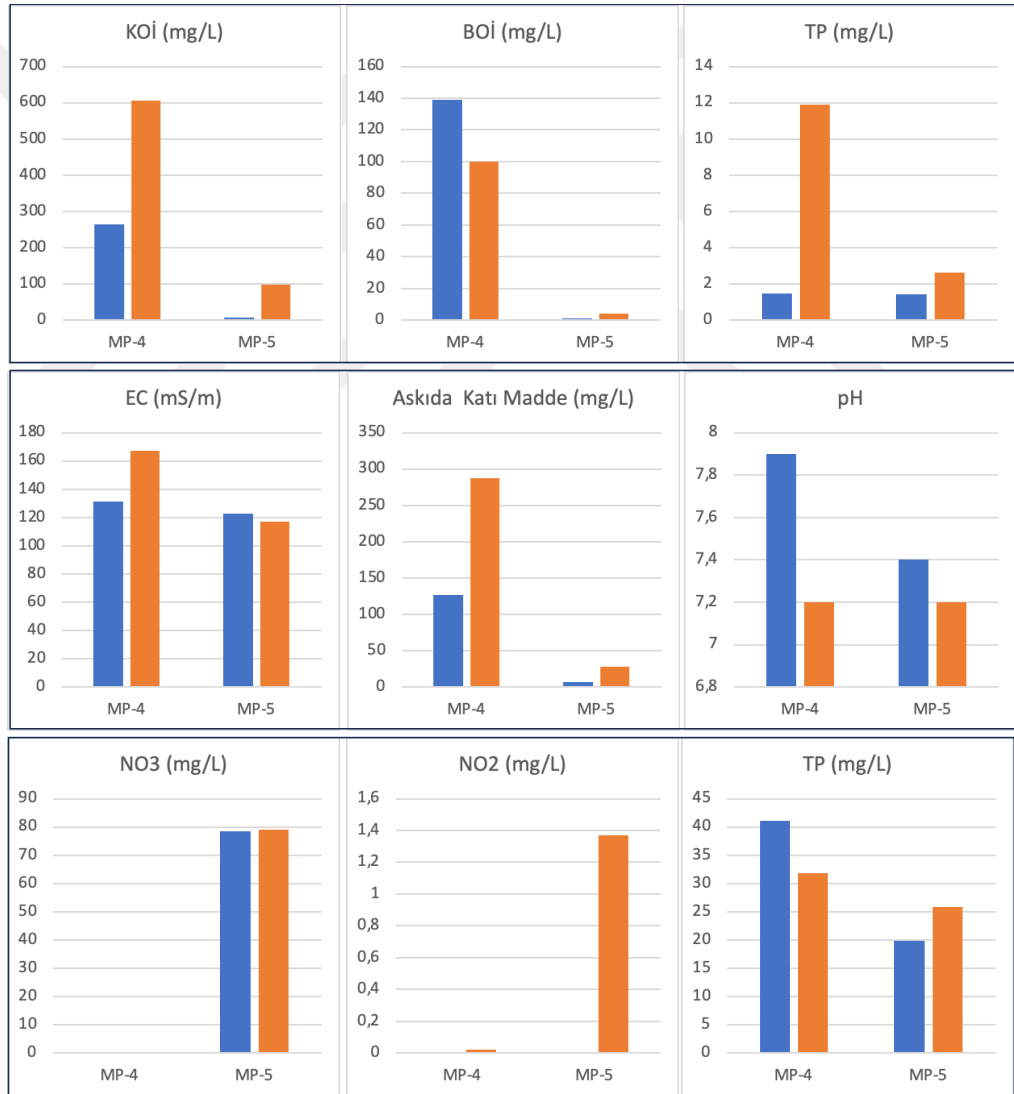
Arıtma tesisine gelen mikroplastik yükünü belirlemek amacıyla istasyonlara (MP1, MP2 ve MP3) ait veriler değerlendirilmiş, yağışlı ve kurak döneme ait parametreler Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1. MP1, MP2 ve MP3 istasyonlarında yağışlı ve kurak dönemde ölçülen parametreler. Mavi: yağışlı dönemi turuncu: kurak, temsil etmektedir (Bayraktar ve Erkmen, 2023).

Yağışlı dönemde: MP1 ve MP2 istasyonlarından alınan numunelerde askıda katı madde (AKM) konsantrasyon değeri birbirine yakındır. MP3 istasyonunda ise AKM değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. MP3 istasyonu bulunduğu alan itibarıyla hem evsel hem de endüstriyel atıksuların toplandığı nokta olması nedeniyle bu sonucun yüksek çıkmasına neden olmuştur. MP3 istasyonunda toplam azot (TN), toplam fosfor (TP) değeri yüksek olup MP1 ve MP2 istasyonlarında bu değer birbirine yakındır.

Su kaynaklarında biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ile kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) önemli parametrelerdir. Yağışlı dönemde MP1 ve MP3 istasyonlarında yüksek olduğu belirlenmiştir. Kurak dönemde ise alınan atıksu numuneleri incelendiğinde AKM konsantrasyonun MP2 istasyonunda en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Evlerden kaynaklı atıkların toplandığı bu istasyonda BOİ, KOİ ve elektriksel iletkenliğinde yüksek olduğu belirlenmiştir. Kentlerde atıksu arıtma tesislerinin planlaması yapılırken ham atıksuyun karakteristiği göz önüne alınmaktadır. Su analizleri, arıtma tesislerinin yapımında hangi tip arıtmanın kullanılacağı konusunda yol göstericidir. Arıtma tesisi giriş (MP4) ve arıtma tesisi çıkış (MP5) istasyonlarında ayrı değerlendirilmiş olup parametrelere ait karşılaştırmalar Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. MP4 ve MP5 istasyonlarında yağışlı ve kurak dönemde ölçülen değişkenler. Turuncu: kurak, mavi: yağışlı dönemi temsil etmektedir (Bayraktar ve Erkmen, 2023).

Yağışlı ve kurak dönemde arıtma istasyonu çıkışında NO₃'ün ve Elektiriksel İletkenlik (EC)'nin yüksek olduğu, arıtma çıkış suyunda NO₂'nin ise kurak dönemde yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yağışlı ve kurak dönemlerde ölçümü yapılan değerlere ait verimler Çizelge 4.3, Çizelge 4.4'de verilmiştir. Dönemler kendi içinde karşılaştırılması yapılarak yüzdelik verimler belirlenmiştir. Atıksuyun her iki döneme ait AKM, BOİ ve KOİ konsantrasyonlarında verim sağlanırken EC, TN ve TP konsantrasyonlarının daha az giderim verimiyle deşarj edildiği görülmüştür.

Çizelge 4.3. Yağışlı dönem parametrelere ait elde edilen verim yüzdesi.

Dönem	Parametre	Giriş Değer (mg/L)/(mS/m)	Çıkış Değer (mg/L) /(mS/m)	Elde edilen verim %
Yağışlı	AKM	127	7	94,7
	BOİ	139	1	99,2
	KOİ	265	7	97,4
	Toplam N	41,04	19,81	68,3
	Toplam P	1,49	1,41	51,4
	Elektiriksel İletkenlik	131,5	123	51,0

Çizelge 4.4. Kurak dönem parametrelere ait elde edilen verim yüzdesi.

Dönem	Parametre	Giriş Değer (mg/L)/(mS/m)	Çıkış Değer (mg/L) /(mS/m)	Elde edilen verim %
Kurak	AKM	287	28	91,1
	BOİ	100	4	96,1
	KOİ	606	99	85,9
	Toplam N	31,8	25,8	55,2
	Toplam P	11,9	2,61	82,0
	Elektiriksel İletkenlik	167,2	117,3	58,0

Atıksu arıtma tesisine gelen güzergah üzerinde bulunan MP1, MP2 ve MP3 istasyonları atıksu arıtma tesislerinin hangi proseslerle kurulabileceği konusunda yol gösterici olmaktadır. Sonuç olarak karakteristiği belirlenen atıksular ile arıtma tesislerinin tasarım kriterlerinin belirlenmesi, proses seçimlerinin oluşturulması, arıtma dereceleri gibi ön fizibilite çalışmalarına altlık oluşturmaktadır. Atıksuların kimyasal özellikleri atıksuyun karakteristiğini ortaya çıkarmak için araç olarak kullanılan veriler arasında yer almaktadır (Bayraktar ve Erkmen, 2023).

4.2. Mikroplastik Sayım Çalışmaları

Çalışma alanında belirlenen örnekleme istasyonlarından yağışlı ve kurak dönem olmak üzere iki örnekleme yapılmıştır.

Yağışlı Dönem: Bu dönemde 5 istasyondan (MP1, MP2, MP3, MP4, MP5) alınan su numuneleri ayrı ayrı tespit edilerek toplam mikroplastik miktarları belirlenmiştir (Çizelge 4.5). İstasyonlara ait örnekler streomikroskop altında görsel olarak incelenmiştir (Şekil 4.3).

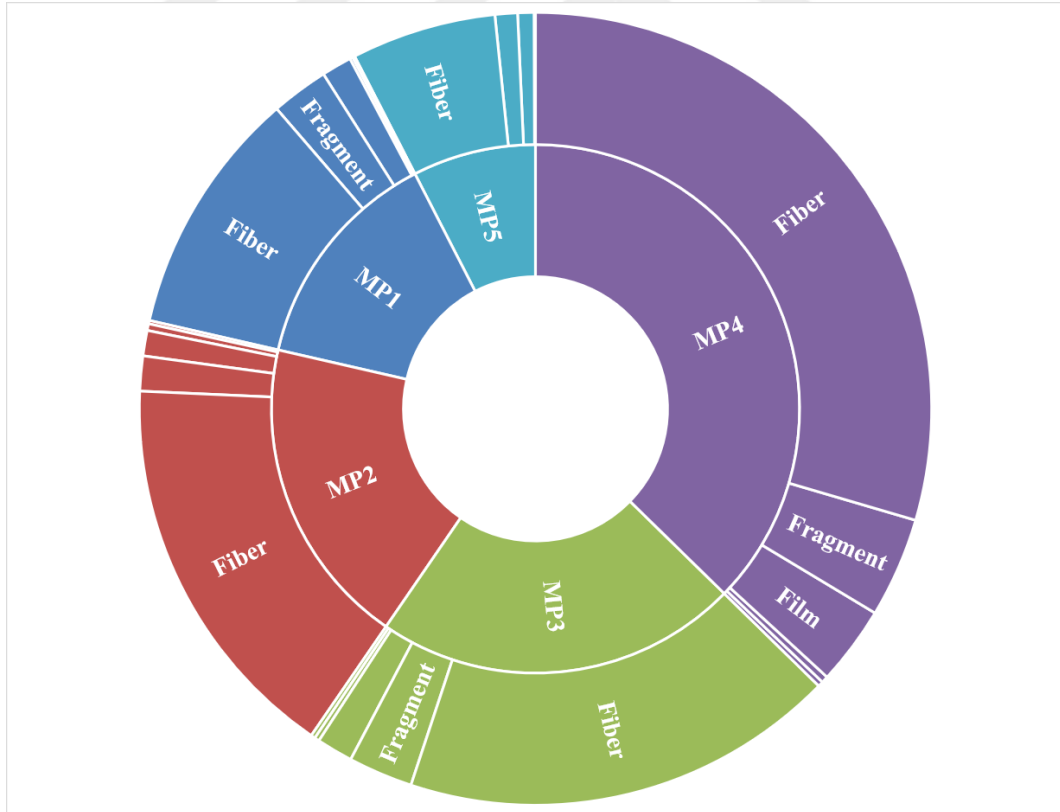


Şekil 4.3. Yağışlı dönem tespit edilen mikroplastik görselleri.

Çizelge 4.5. Yağışlı dönem tüm istasyonlara ait toplam mikroplastik miktarı.

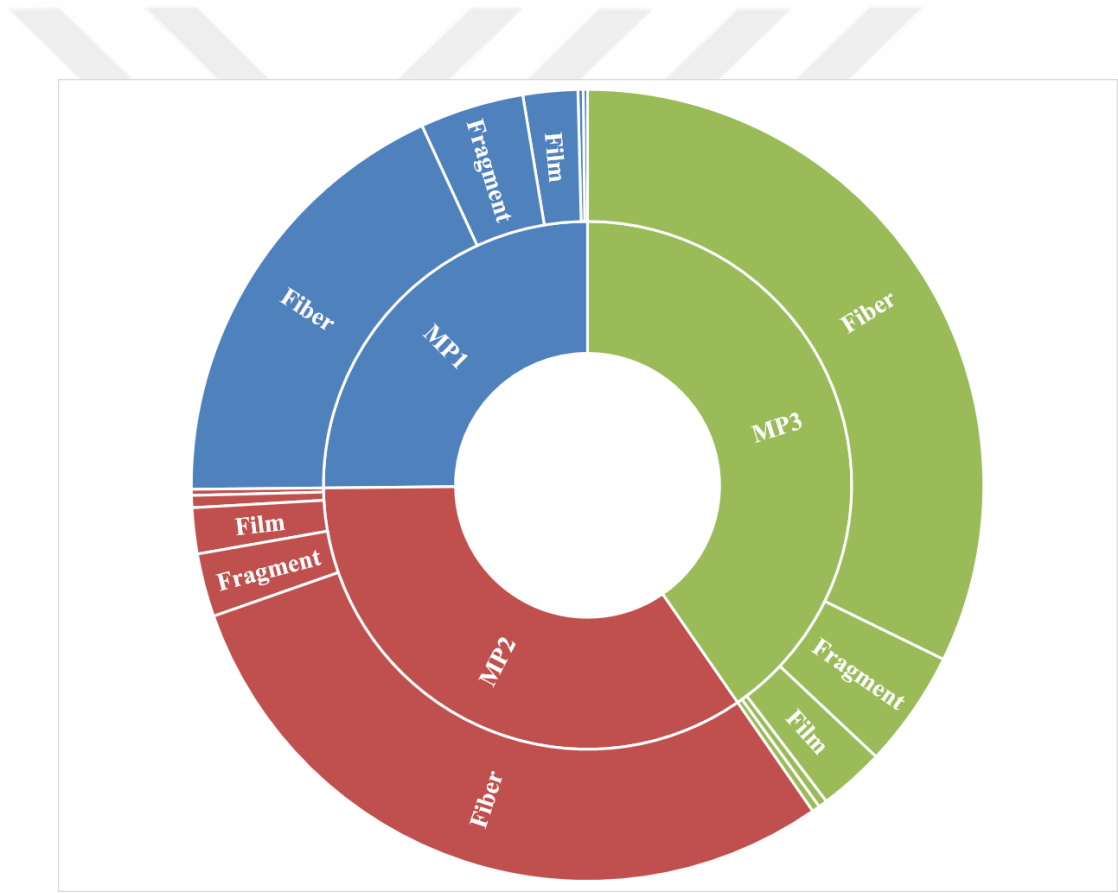
Dönem	Mikroplastik şekilleri	Tespit Edilen Mikroplastik (MP/L)
Yağışlı	Fiber	407,2
	Fragment	58,4
	Film	39,1
	Mikroboncuk	3,8
	Köpük	4,1
	Toplam	512,6

İstasyonlardan alınan numunelerde tespit edilen mikroplastikler görsel olarak mikroskop altında mikroboncuk, fiber, fragment, film ve köpük olmak üzere 5 (beş) kategoriye ayrılarak incelenmiştir (Şekil 4.4). Yağışlı döneme ait örneklemelerde tüm istasyonlarda toplam 512,6 MP/L mikroplastik tespit edilmiştir. Bu döneme ait tüm örneklemelerde tespit edilen mikroplastikler içerisinde baskın mikroplastik tipinin %79,50 ile fiber olduğu belirlenmiştir.



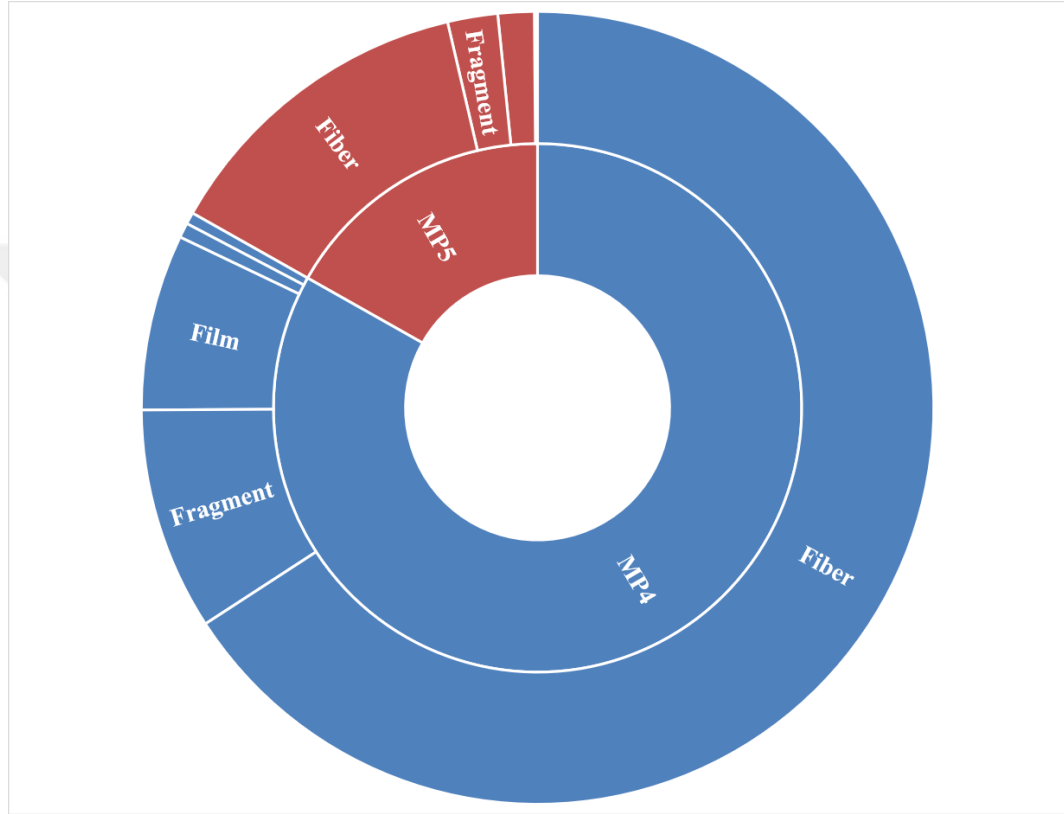
Şekil 4.4. Yağışlı dönem tüm istasyonlara ait genel dağılım.

Yağışlı dönemde arıtmaya gelen hat üzerinde bulunan üç istasyonda (MP1,MP2,MP3) mikroplastik miktarları MP1 istasyonunda 71,1 MP/L, MP2 istasyonunda 97,4 MP/L ve MP3 istasyonunda ise 114,1 MP/L mikroplastik tespit edilmiştir. Yağışlı dönemde üç istasyonda baskın mikroplastik tipinin en yüksek %84,9 oranında MP2 istasyonunda fiber olduğu görülmüştür. MP2 istasyonu evlerden kaynaklanan atıkların toplandığı, çamaşır makinalarından arıtmaya gelen atıkların oluşturduğu insan popülasyonunun yoğun bulunduğu nokta olması fiberlerin baskın olmasının kaynağı olarak açıklanabilmektedir Onu takip eden baskın mikroplastik tipinin ise MP1 istasyonunda %16,9 ile fragment olduğu saptanmıştır. MP1 istasyonu endüstriyel atıksuların taşındığı sanayi bölgesidir (Şekil 4.5).



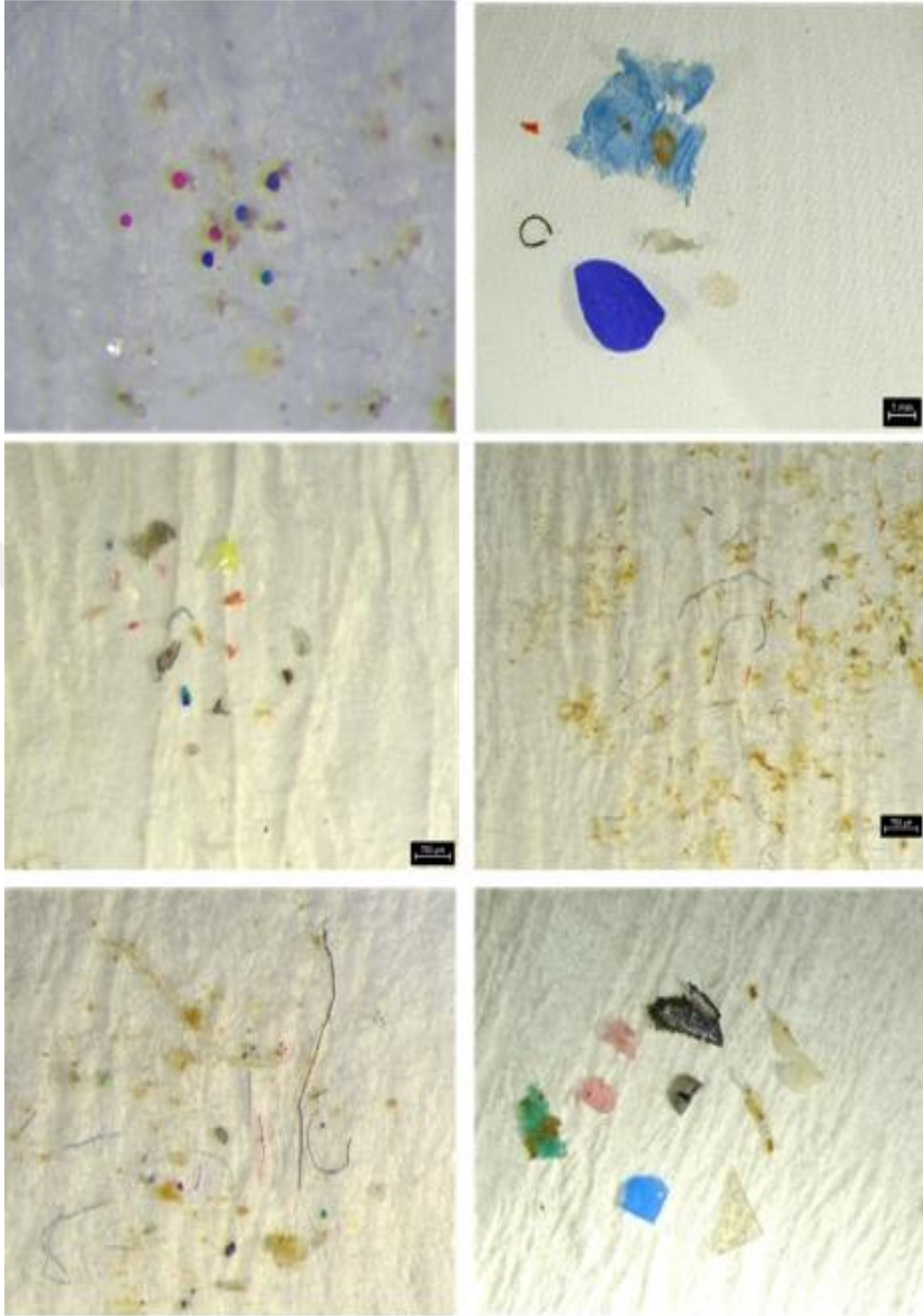
Şekil 4.5. Yağışlı dönem MP1, MP2, MP3 istasyonlarında tespit edilen mikroplastik tipleri.

Yağışlı dönemde arıtma tesisi giriş noktasında (MP4) mikroplastik miktarı 191,3 MP/L iken ve arıtma tesisi deşarj suyunda (MP5) 38,7 MP/L mikroplastik tespit edilmiştir. MP4 istasyonunda baskın mikroplastik tipi %79,2 oranında, MP5 istasyonunda ise %78,3 oranında fiber olduğu görülmüştür. MP4 istasyonunda fragment ve filmlerin sırasıyla %10,9-%8,6 oranlarında, MP5 istasyonunda ise %12,2-%8,8 oranlarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Yağışlı dönem MP4, MP5 istasyonlarında tespit edilen mikroplastik tipleri.

Kurak Dönem: Yine yağışlı dönemde olduğu gibi arıtmaya gelen üç hat üzerinden, arıtma giriş ve deşarj noktasından alınan örneklemelerde stereo mikroskop altında tespit edilen mikroplastiklere ait görseller Şekil 4.7’de verilmektedir.

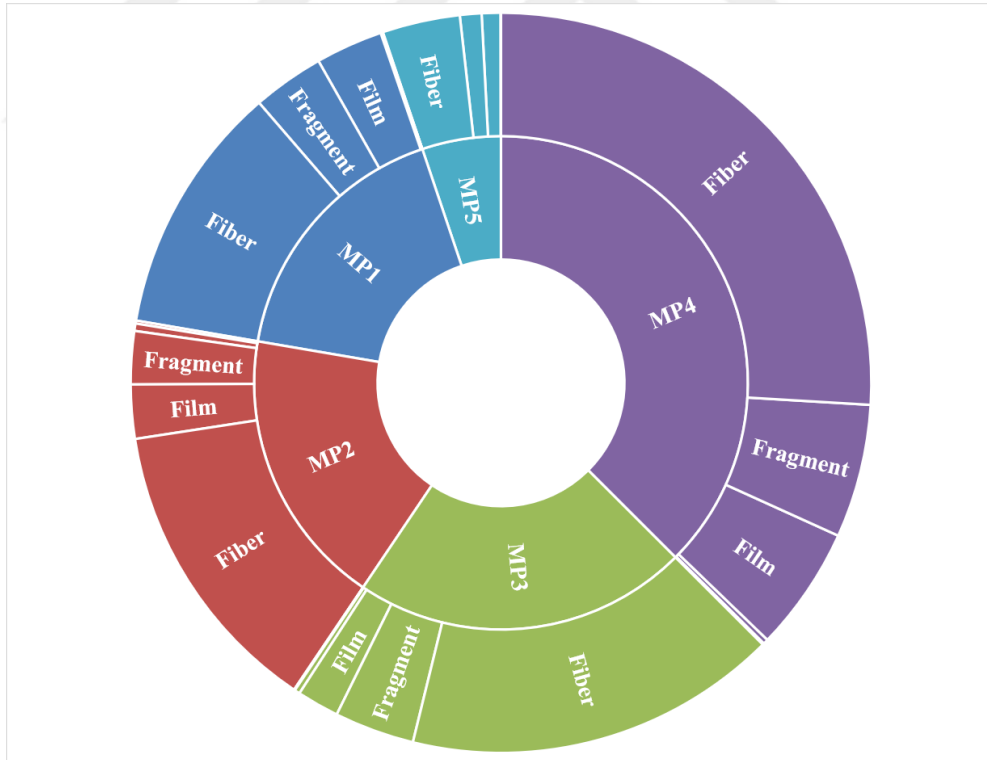


Şekil 4.7. Kurak dönem tespit edilen mikroplastik türlerine ait görseller.

Bu döneme ait tüm örnekleme istasyonlarından toplam 466,7 MP/L mikroplastik tespit edilmiştir. Tespit edilen mikroplastikler fiber, fragment, film, mikrobuncuk ve köpük olmak üzere 5(beş) kategoriye ayrılmış ve tüm istasyonlarda %69,80 oranında baskın olan şeklin fiber olduğu görülmüştür (Çizelge 4.6) (Şekil 4.8).

Çizelge 4.6. Kurak dönem tüm istasyonlara ait toplam mikroplastik miktarı.

Dönem	Mikroplastik şekilleri	Tespit Edilen Mikroplastik (MP/L)
Kurak	Fiber	325,6
	Fragment	72,7
	Film	63,1
	Mikrobuncuk	2,2
	Köpük	3,1
	Toplam	466,7



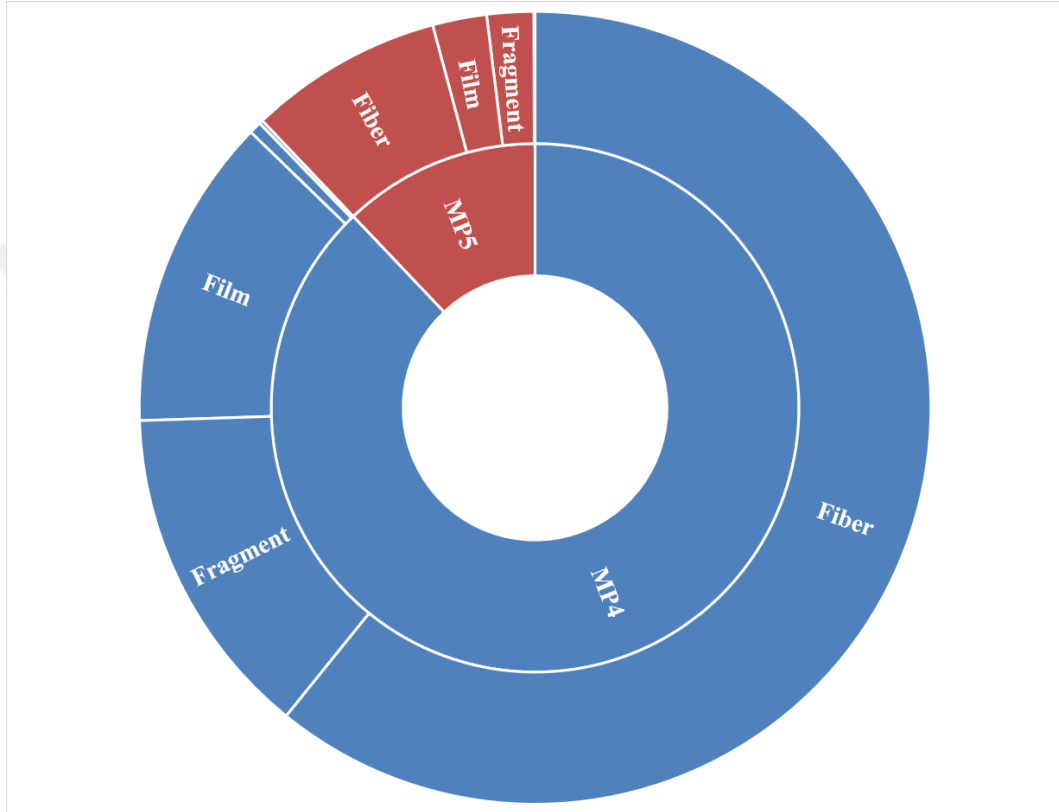
Şekil 4.8. Kurak dönem tüm istasyonlara ait genel dağılım.

Kurak dönemde arıtmaya gelen hat üzerinde bulunan MP1, MP2, MP3 istasyonları arasında mikroplastik miktarları karşılaştırıldığında sırasıyla 80 MP/L, 85,2 MP/L ve 102,4 MP/L mikroplastik tespit edilmiştir. Kurak dönemde MP3 istasyonunda mikroplastik miktarı en yüksek olup % 74,41 oranında baskın türün fiber olduğu tespit edilmiştir. Hem evsel hem de endüstriyel atıksuların taşındığı bu istasyonda (MP3) fragmentlerin oranı %15,91 iken MP1 istasyonunda ise bu oran %18,25 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.9). Arıtmaya gelen bu iki istasyonda da sanayi tesislerinin bulunuyor olması fragment ve film tiplerinin yoğunluğunun bir göstergesidir.



Şekil 4.9. Kurak dönem MP1, MP2, MP3 istasyonlarında tespit edilen mikroplastik tipleri.

Kurak dönemde arıtma tesisi giriş noktasında (MP4) mikroplastik miktarı 175 MP/L iken arıtma tesisi deşarj suyunda (MP5) 24,1 MP/L mikroplastik miktarı tespit edilmiştir. Tespit edilen mikroplastik tipi tesis girişinde %69,2 oranında, tesis deşarj suyunda ise %65,6 oranında fiberlerin baskın olduğu görülmüştür. MP4 istasyonunda fragment ve filmlerin sırasıyla %15,6-%14,5 oranlarında, MP5 istasyonunda ise %15,8-%18,3 oranlarında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Kurak dönem MP4, MP5 istasyonlarında tespit edilen mikroplastik tipleri.

Mikroplastik kirliliğinin mevsimsel olarak değerlendirilebilmesi için yağışlı ve kurak dönemde aynı istasyonlardan alınan numuneler sayı ve yüzde olarak tespit edilerek mevsimsel değişim karşılaştırılmıştır. Yağışlı ve kurak dönemlerde numunelerin karşılaştırılma sonuçları Çizelge 4.7’de özetlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hem yağışlı hem de kurak dönemlerde alınan numuneler arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ($p=0.022$; $p=0.031$).

Çizelge 4.7. Yağışlı ve kurak dönemlerde numunelerin analiz sonuçları.

Dönem	Numune	Ort±SS	Min-Maks	Medyan	p*
Yağışlı	MP1	237.00±46.03	[184.00-267.00]	260.00	0,022
	MP2	324.67±42.90	[276.00-357.00]	341.00	
	MP3	380.33±128.25	[243.00-497.00]	401.00	
	MP4	637.67±75.10	[578.00-722.00]	613.00	
	MP5	128.33±85.65	[54.00-222.00]	109.00	
Kurak	MP1	266.67±61.71	[215.00-335.00]	250.00	0,031
	MP2	284.00±28.51	[255.00-312.00]	285.00	
	MP3	341.33±71.23	[267.00-409.00]	348.00	
	MP4	583.33±66.27	[512.00-643.00]	595.00	
	MP5	80.33±36.56	[48.00-120.00]	73.00	

Ort±SS: Ortalama±Standart Sapma. *: Friedman testi sonucu.

Yağışlı ve kurak dönemlerde numunelerin ikili karşılaştırılması sonuçları Çizelge 4.8’de özetlenmiştir. Alınan numunelerden MP4 ve MP5 bölgelerinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu söylenebilir (p=0,019).

Çizelge 4.8. Yağışlı ve kurak döneme ait istasyonların ikili karşılaştırma sonuçları.

Dönem	Numune Çifti	Test İstatistiği	St. Hata	Düzeltilmiş p
Yağışlı	MP1 – MP2	-0,667	1,291	1
	MP1 – MP3	-1,33	1,291	1
	MP1 – MP4	-2,67	1,291	0,389
	MP1 – MP5	1,333	1,291	1
	MP2 – MP3	-0,67	1,291	1
	MP2 – MP4	-2	1,291	1
	MP2 – MP5	2	1,291	1
	MP3 – MP4	-1,33	1,291	1
	MP3 – MP5	2,67	1,291	0,389
	MP4 – MP5	4	1,291	0,019
Kurak	MP1 – MP2	-0,667	1,291	1
	MP1 – MP3	-1,33	1,291	1
	MP1 – MP4	-2,67	1,291	0,389
	MP1 – MP5	1,333	1,291	1
	MP2 – MP3	-0,67	1,291	1
	MP2 – MP4	-2	1,291	1
	MP2 – MP5	2	1,291	1
	MP3 – MP4	-1,33	1,291	1
	MP3 – MP5	2,67	1,291	0,389
	MP4 – MP5	4	1,291	0,019

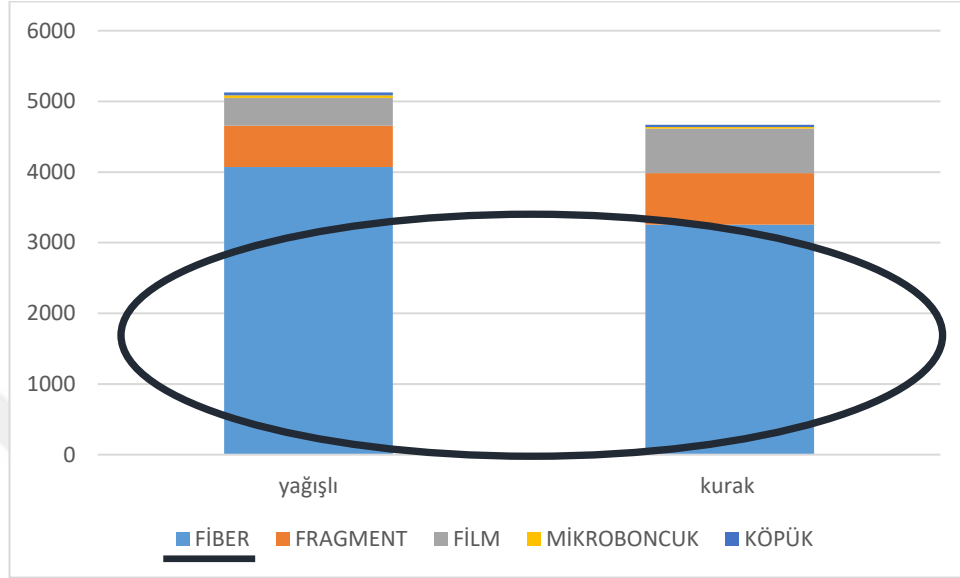
Spss ile elde edilen sonuçların çıktıları verildiği gibidir. Yağışlı ve kurak dönemlerde numunelerin karşılaştırılması sonuçları Şekil 4.11’de verilmiştir.

Test Statistics ^a		
yagisli	N	3
	Chi-Square	11,467
	df	4
	Asymp. Sig.	,022
kurak	N	3
	Chi-Square	10,667
	df	4
	Asymp. Sig.	,031

a. Friedman Test

Şekil 4.11. Yağışlı ve kurak döneme ait tespit edilen mikroplastik verilerine uygulanan friedman test analiz sonuçları.

Yağışlı ve kurak dönemi temsilen yapılan çalışmalarda her iki mevsimde de baskın mikroplastik türünün fiber olduğu görülmüştür. Kurak dönemde mikroplastik sayılarında azalma olduğu bu durumun yağmurlarla taşınan plastiklerin varlığını açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Yağışlı ve kurak dönem mikroplastik tiplerinin karşılaştırılması.

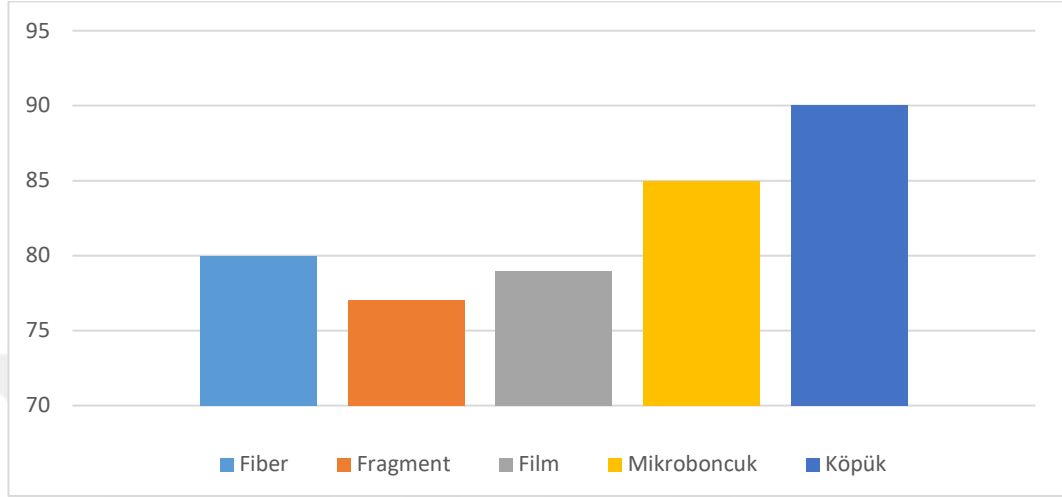
Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi giriş (MP4) ve arıtma tesisi deşarj (MP5) noktaları dikkate alınarak yağışlı ve kurak dönemlere ait veriler ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Tatlar Atıksu Arıtma Tesisi'ne yağışlı dönemde 191,3 MP/L mikroplastik miktarı giriş yaparken arıtma tesisinin çıkışı deşarj noktasında ise 38,7 MP/L mikroplastik miktarı tespit edilmiştir. Bu iki istasyonda tespit edilen mikroplastik tiplerine ait veriler Çizelge 4.9'da verilmektedir.

Çizelge 4.9. Yağışlı dönemde arıtma tesisi giriş ve çıkış noktalarında tespit edilen mikroplastik miktarı.

Yağışlı Dönem (MP/L)	MP4 (Giriş)	MP5 (Çıkış)
Fiber	151,4	30,3
Fragment	20,9	4,7
Film	16,5	3,4
Mikroboncuk	1,4	0,2
Köpük	1,1	0,1
	191,3 MP/L	38,7 MP/L

Yağışlı dönemde baskın mikroplastik tiplerinden fiberlerin %80 oranında arıtma tesisinde giderimleri sağlanırken, fragmentlerin giderim oranlarının ise %77 oranında olduğu tespit edilmiştir. Tatlar AAT’de en yüksek giderim sağlanan mikroplastik tipinin ise %90 oranı ile köpük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.13).

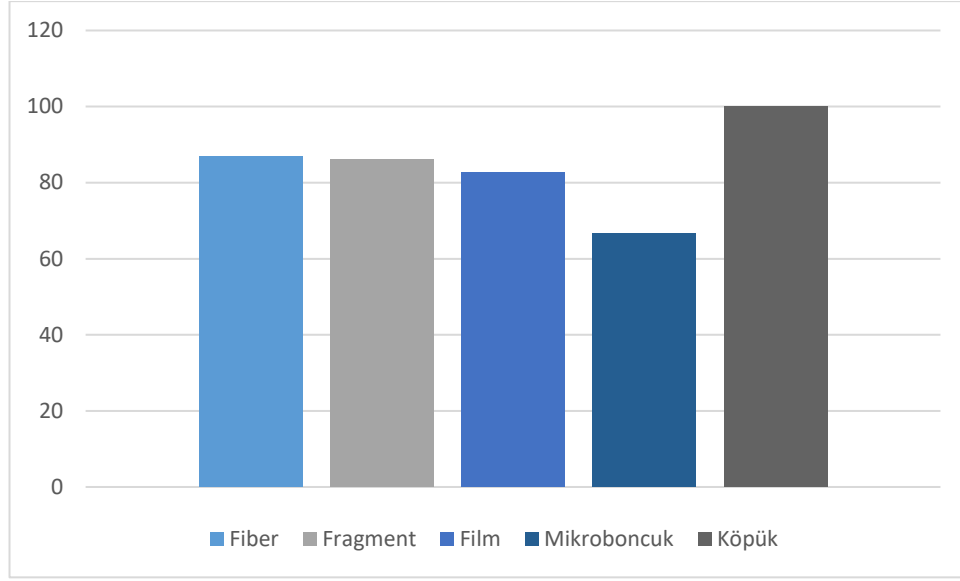


Şekil 4.13. Yağışlı dönem % giderim verileri.

Kurak dönemde ise; Arıtma tesisine giriş noktasında tespit edilen mikroplastik miktarı 175 MP/L iken, tesis çıkış deşarj noktasında ise 24,1 MP/L mikroplastik miktarı tespit edilmiştir. Tespit edilen mikroplastiklerin tiplerine göre miktarları Çizelge 4.10’da verilmektedir. Kurak dönemde fiberlerin %87 oranında giderimi sağlanırken fragmentlerin ise %86 oranında giderimleri gerçekleşmiştir. En yüksek giderim oranı ise köpüklerde %100 oranında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.14).

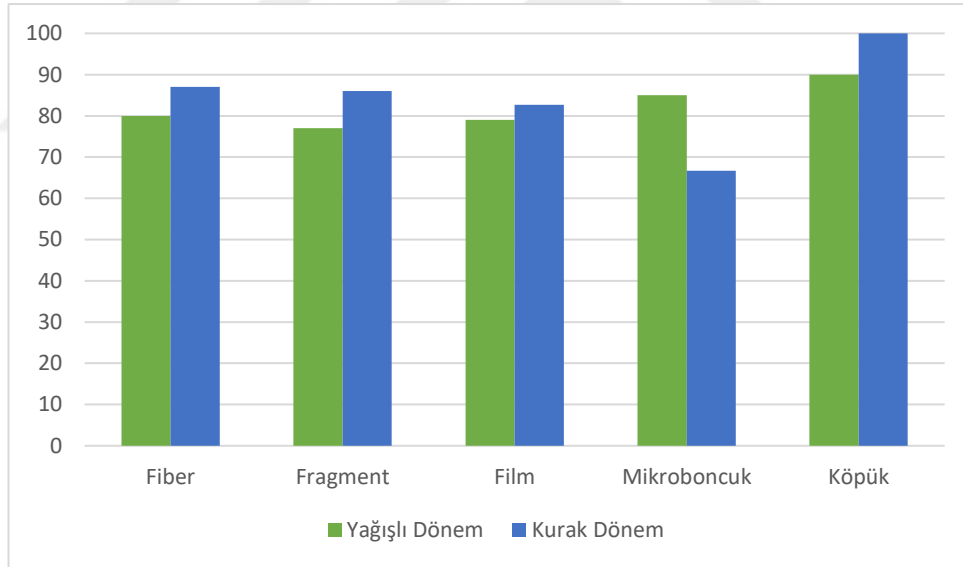
Çizelge 4.10. Kurak dönemde arıtma tesisi girişi ve çıkışı noktalarında tespit edilen mikroplastik miktarı.

Kurak Dönem (MP/L)	MP4 (Giriş)	MP5 (Çıkış)
Fiber	121,1	15,8
Fragment	27,2	3,8
Film	25, 4	4,4
Mikroboncuk	0,3	0,1
Köpük	1	0
	175 MP/L	24,1 MP/L



Şekil 4.14. Kurak dönem % giderim verimliliği.

Mevsimsel olarak bakıldığında kurak dönemde yağışlı döneme göre giderim verimliliği açısından iyi uzaklaştırma sağladığı görülmüştür (Şekil 4.15).



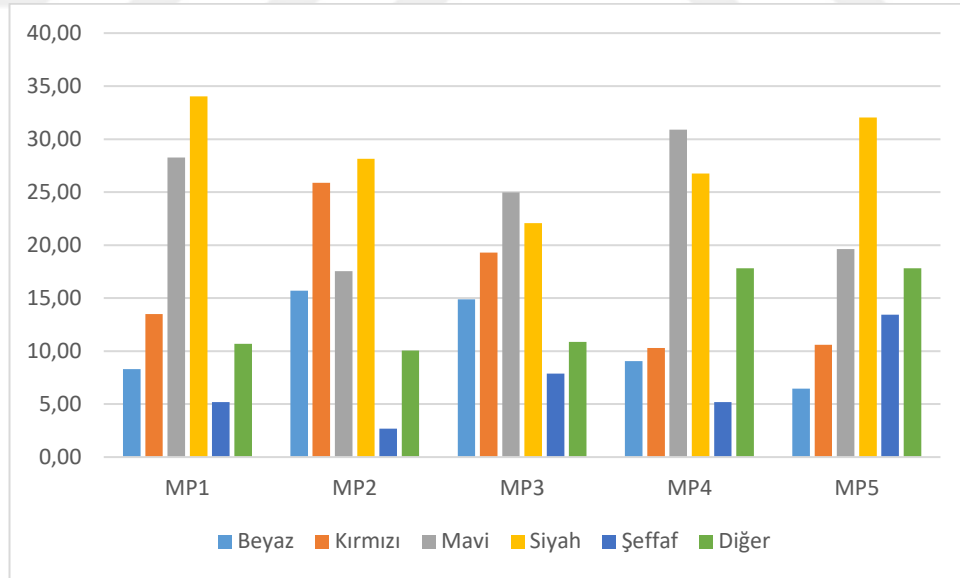
Şekil 4.15. Mevsimsel değişim % giderim verimliliği. Yeşil: yağışlı, mavi: kurak dönemi temsil etmektedir.

4.3. Mikroplastik Renk Analiz Çalışmaları

Yağışlı ve kurak döneme ait örneklemelerde tespit edilen mikroplastiklerde baskın 12 renk belirlenmiştir. Yağışlı dönemde tüm istasyonlarda siyah rengin baskın olduğu tespit edilmiştir. MP1 istasyonunda %34,04; MP5 istasyonunda %32,04 oranında siyah rengin baskın olduğu bulunmuştur. MP2, MP3 ve MP4 istasyonlarında da sırasıyla %28,13, %22,09, %26,76 oranlarında siyah rengin baskın olduğu tespit edilmiştir.

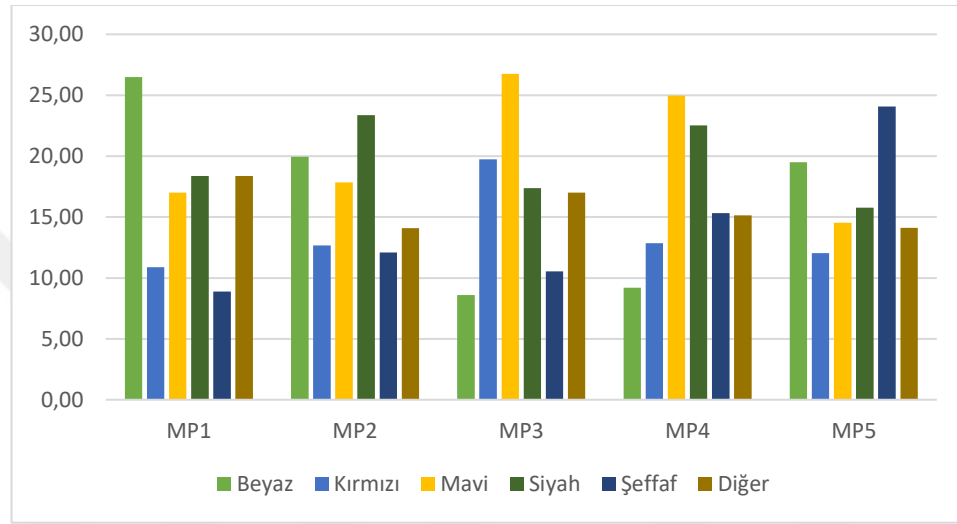
Bu dönemde siyah rengin yanı sıra mavi ve kırmızı renklerinde yoğun olduğu tespit edilmiştir. MP4 istasyonunda mavi renk %30,89 oranında, sırasıyla MP1, MP3, MP5 ve MP2 istasyonlarının takip ettiği görülmüştür. Ayrıca MP2 istasyonunda da kırmızı rengin %25,87 oranında baskın olduğu belirlenmiştir.

Yağışlı dönemde istasyonlarda en az rastlanan rengin pembe olduğu tespit edilmiştir. Sadece arıtma tesisine giriş (MP4) ve arıtma tesisi çıkış (MP5) istasyonlarında sırasıyla %3,19 ve %0,78 olduğu tespit edilmiştir. Yağışlı döneme ait renk dağılımları Şekil 4.16'da verilmiştir.



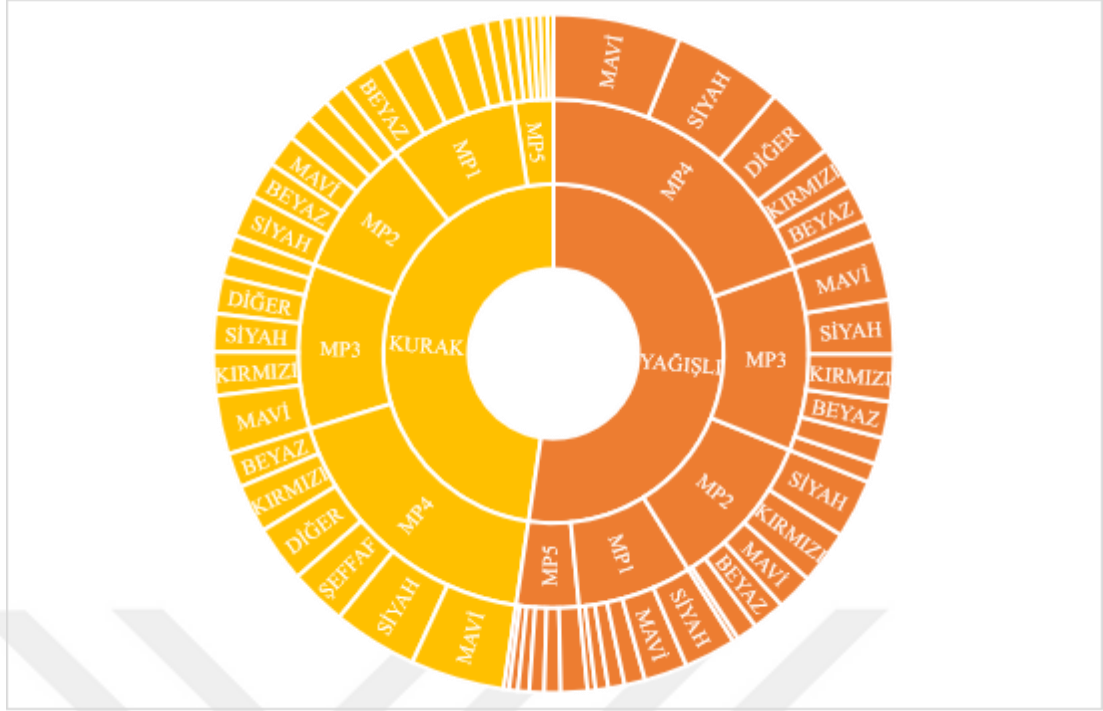
Şekil 4.16. Yağışlı döneme ait renk dağılımı.

Kurak dönemde ise tüm istasyonlara bakıldığında mavi rengin baskın olduğu tespit edilmiştir. Mavi rengin MP3 istasyonunda %26,76 oranında olduğu onu sırasıyla MP4, MP2, MP1 ve MP5 istasyonlarının takip ettiği belirlenmiştir. MP1 istasyonunda %26,50 oranında beyaz renk, MP2 istasyonunda baskın renk %23,36 oranında siyah olduğu tespit edilmiştir. Kurak dönemde en az sayıda tespit edilen rengin gri olduğu MP1, MP3, MP2 ve MP4 istasyonlarında sırasıyla %1,13, %0,68, %0,12 ve %0,11 olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Kurak döneme ait renk dağılımı.

Mevsimsel değişimler dikkate alınarak yağışlı ve kurak döneme ait örneklemeler karşılaştırıldığında tespit edilen mikroplastiklerde siyah ve mavi renklerin baskın olduğu görülmüştür (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Yağışlı ve kurak döneme ait mikroplastik renk skalası.

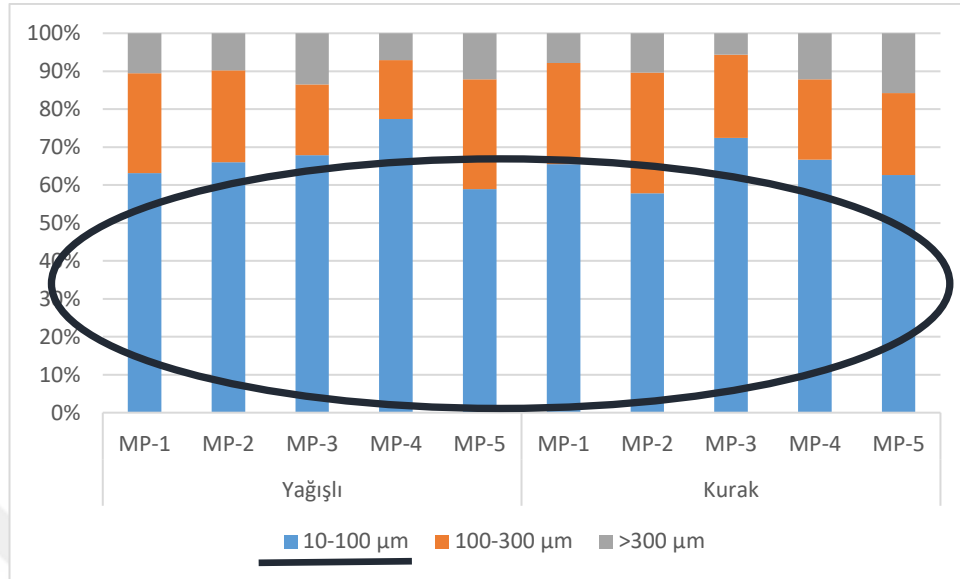
4.4. Mikroplastik Boyut Analiz Çalışmaları

Örnekleme istasyonlarından alınan su numunelerinde tespit edilen mikroplastikler 300, 100 ve 10 μm gözenek çapında üç farklı elekten geçirilerek toplanmıştır. Sayımları yapılan mikroplastiklerin boyutlarına göre sıralamaları 10-100 μm , 100-300 μm , ve >300 μm olarak belirlenmiştir. Yağışlı ve kurak dönemde analiz edilen mikroplastiklerin boyutlarına ait dağılımlar Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Yağışlı ve kurak dönemlere ait istasyonlarda tespit edilen mikroplastiklerin boyut analizi.

Dönem	İstasyonlar	Boyut Analizi			Toplam Mikroplastik
		10-100 μm	100-300 μm	>300 μm	
Yağışlı	MP1	449	187	75	711
	MP2	643	236	95	974
	MP3	774	213	154	1141
	MP4	1481	297	135	1913
	MP5	228	112	47	387
Kurak	MP1	524	213	63	800
	MP2	493	271	88	852
	MP3	742	224	58	1024
	MP4	1167	370	213	1750
	MP5	151	52	38	241

Yağışlı ve kurak dönemlerde eleklerden geçirilen atıksu numunelerinde tespit edilen mikroplastikler çoğunlukla 10-100 µm boyut aralığında bulunmuştur (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Yağışlı ve kurak döneme ait boyut analizi karşılaştırması.

Yağışlı ve kurak dönemlerde farklı gözenek çapına sahip eleklerin karşılaştırılması yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 4.12’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hem yağışlı hem de kurak dönemlerde kullanılan elekler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p=0.074$; $p=0.549$).

Çizelge 4.12. Yağışlı ve kurak dönemlerde eleklerin karşılaştırma sonuçları.

Dönem	Numune	Ort±SS	Min-Maks	Medyan	p*
Yağışlı	E_10	384.60±150,35	[224.00-578.00]	357.00	0,074
	E_100	366.60±226.86	[109.00-722.00]	341.00	
	E_300	274.00±207.60	[54.00-613.00]	243.00	
Kurak	E_10	302.20±156.88	[120.00-512.00]	255.00	0,549
	E_100	336.80±203.81	[73.00-643.00]	335.00	
	E_300	294.40±196.28	[48.00-595.00]	267.00	

Yağışlı ve kurak dönemlerde alınan örneklemelerin ikili karşılaştırılması yapılmış olup, sonuçlar Şekil 4.20’de verilmiştir.

Test Statistics ^a		
yağışlı	N	5
	Chi-Square	5,200
	df	2
	Asymp. Sig.	,074
kurak	N	5
	Chi-Square	1,200
	df	2
	Asymp. Sig.	,549

a. Friedman Test

Şekil 4.20. Yağışlı ve kurak dönemlerde eleklerin test sonuçları.

Mikroplastiklerin boyutlarına göre yapılan incelemelerden elde edilen veriler, SPSS (The Statistical Package for The Social Sciences) 23 programıyla değerlendirilmiştir. Yağışlı ve kurak dönemlerde mikroplastik miktarlarının boyutlara göre dağılımı elde edilmiştir.

Gözlem sayısı az olduğu için parametrik olmayan yöntemlerden yararlanılmıştır. Yağışlı ve kurak dönemlerde mikroplastik miktarları her bir elek boyutuna göre farklılıkları Friedman Testi ile incelenmiştir.

Farklılık bulunan gruplarda ikili karşılaştırma yapılmış olup, düzeltilmiş p değerleri verilmiştir (Çizelge 4.13). Sonuçlar $p < 0,05$ anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.13. Yağışlı ve kurak dönemlerde istasyonların boyutlarına göre % dağılımı.

Dönem	İstasyonlar	Boyut Analizi			Toplam Mikroplastik
		10-100 µm	100-300 µm	>300 µm	
Yağışlı	MP1	44,9 (%63,15)	18,7 (%26,30)	7,5 (%10,55)	71,1 (%100)
	MP2	64,3 (%66,02)	23,6 (%24,23)	9,5 (%9,75)	97,4 (%100)
	MP3	77,4 (%67,84)	21,3 (%18,67)	15,4 (%13,50)	114,1 (%100)
	MP4	148,1 (%77,42)	29,7 (%15,53)	13,5 (%7,06)	191,3 (%100)
	MP5	22,8 (%58,91)	11,2 (%28,94)	4,7 (%12,14)	38,7 (%100)
Kurak	MP1	52,4 (%65,50)	21,3 (%26,63)	6,3 (%7,88)	80,0 (%100)
	MP2	49,3 (%57,86)	27,1 (%31,81)	8,8 (%10,33)	85,2 (%100)
	MP3	74,2 (%72,46)	22,4 (%21,88)	5,8 (%5,66)	102,4 (%100)
	MP4	116,7 (%66,69)	37,0 (%21,14)	21,3 (%12,17)	175,0 (%100)
	MP5	15,1 (%62,66)	5,2 (%21,58)	3,8 (%15,77)	24,1 (%100)

Yapılan Friedman testi sonucunda yağışlı dönemde de kurak dönemde de alınan numunelerin elek boyutları ve mikroplastik miktarları arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ($p=0,031$; $p=0,043$). Yapılan Friedman Testi sonucu dönemlere ait istatistiki veriler gösterilmiştir (Şekil 4.21).

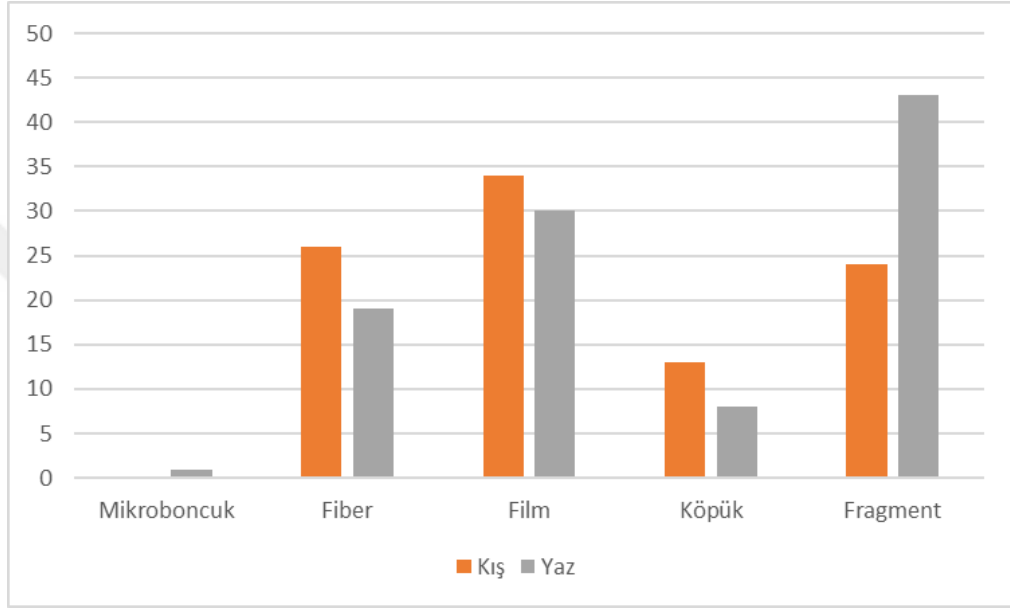
Test Statistics ^a		
Yağışlı	N	3
	Chi-Square	10,667
	df	4
	Asymp. Sig.	,031
Kurak	N	3
	Chi-Square	9,867
	df	4
	Asymp. Sig.	,043

a. Friedman Test

Şekil 4.21. Yağışlı ve kurak dönemlerde farklı göz açıklıklarına sahip elek sistemine göre yapılan friedman sonucu.

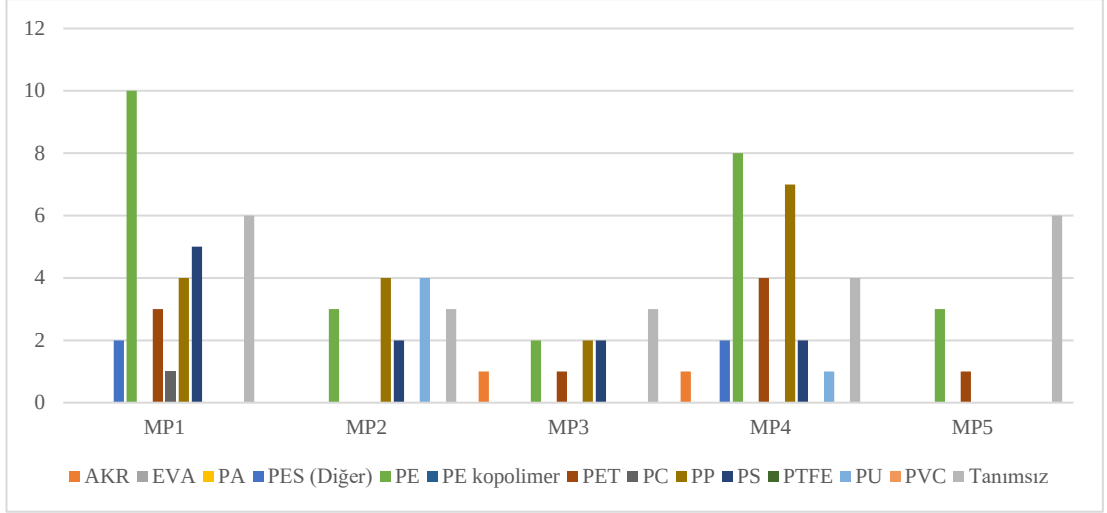
4.5. Mikroplastik Polimer Türü Analiz Çalışmaları

Yağışlı ve kurak döneme ait tüm istasyonlarda toplam 198 örnek üzerinden mikroplastiklerin polimer tiplendirmeleri Fourier-Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) kullanılarak yapılmıştır. FTIR ile tanımlanan örnekler kütüphane taramaları ile spektrumların benzerlikleri karşılaştırılmıştır. 198 örnek üzerinden yapılan çalışmada mikroplastiklerin şekilleri Şekil 4.22’de verilmiştir.

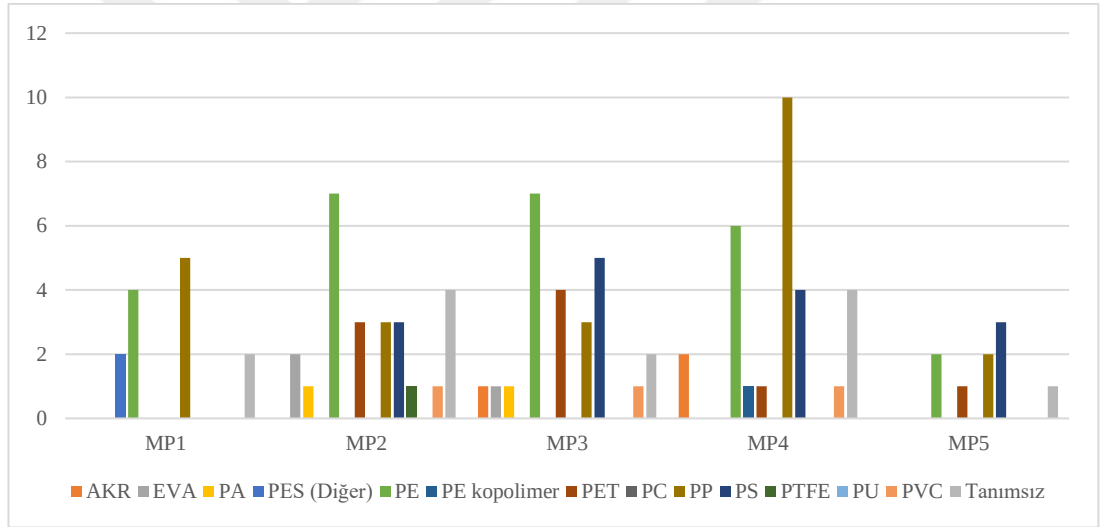


Şekil 4.22. Polimer incelemesi yapılan örneklere ait mikroplastik tipleri.

Tespit edilen polimer türlerinden %83’ü tanımlanmış ancak %17’sinin tanımlanmasına kütüphane taramalarında rastlanılamamıştır. Toplamda 13 polimer türü tespit edilmiştir. Yağışlı ve kurak dönemlerde istasyonlara göre tespit edilen polimer türlerine ait tablolar Şekil 4.23., Şekil 4.24’de verilmiştir.

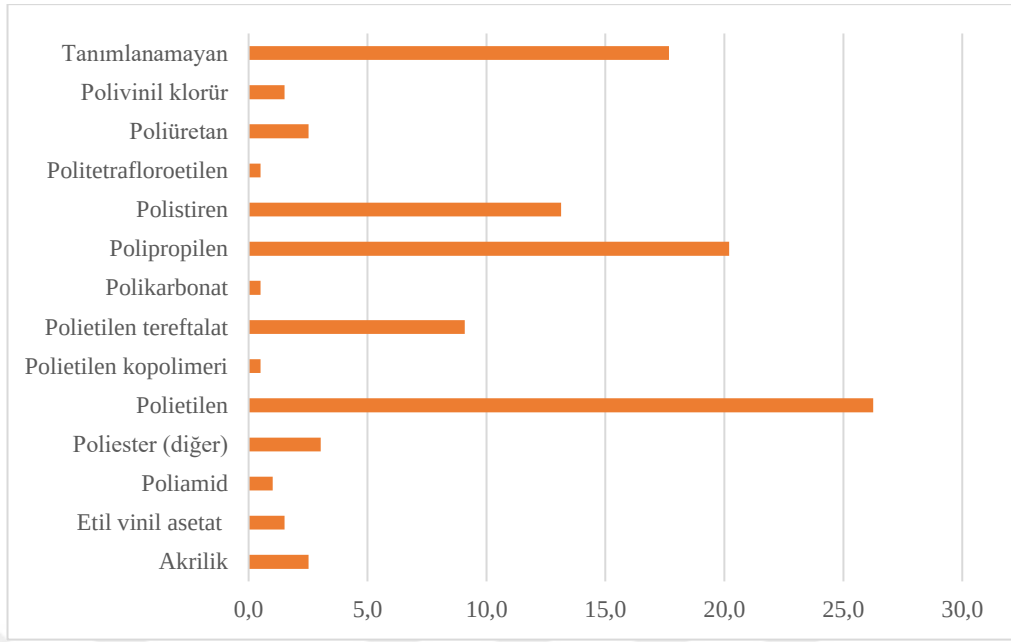


Şekil 4.23. Yağışlı döneme ait tespit edilen polimer türleri.



Şekil 4.24. Kurak döneme ait tespit edilen polimer türleri.

Yağışlı dönemde 101 örnek üzerinden, kurak dönemde ise 97 örnek üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Yağışlı dönemde 9 farklı polimer türü, kurak dönemde 11 farklı polimer türü tespit edilmiştir. Yağışlı ve kurak dönemde en baskın polimer türleri PE, sırasıyla PP ve PS takip etmiştir. Her iki döneme ait toplam polimer türlerinin % dağılımları Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4. 25. Yağışlı ve kurak dönem toplam polimer türlerin % dağılımı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Mikroplastik kirliliği belirli boyutlarda atıksu arıtma tesislerinde kontrol altına alınmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinden sucul ortamlara sürekli büyük hacimlerde arıtılmış atıksular deşarj edilmektedir Bu durum göz önüne alındığında sucul ortama mikroplastikler büyük oranlarda salınım yapmaktadır (Gatidou vd., 2019; Zhou vd., 2024). Mikroplastikleri sudan uzaklaştırmak için arıtmada hem geleneksel hem de yenilikçi teknolojiler uygulanmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan teknolojiler ile (MBR, İleri Oksidasyon, Mikrofiltrasyon, Ultrafiltrasyon, pıhtılaşma vb.) mikroplastiklerin uzaklaştırılması yüksek oranlarda sağlanmaktadır (Gies vd., 2018; Hidayaturrahman vd., 2019; Sharma vd., 2023; Talvitie vd., 2017b).

Çalışmamızda aktif çamur prosesli biyolojik arıtım yapan Ankara İli'nin Merkezi Atıksu Arıtma Tesis (Tatlar-AAT) giriş ve çıkış noktasından alınan atıksu örnekleri ile tesise gelen 3 hat üzerinden seçilen istasyon noktalarından yağışlı (Nisan-2022) ve kurak (Ağustos-2022) dönemlerde alınan atıksu örnekleri incelenmiştir. Arıtma tesisine gelen yükün her bir kol üzerinde (MP1, MP2, MP3) yüksek miktarlarda mikroplastik girdisi sağladığı görülmüştür. Yağışlı dönemde tüm istasyonlardan toplam mikroplastik miktarının 512,6 MP/L, kurak dönemde ise toplam 466,7 MP/L olduğu tespit edilmiştir. Yağışlı dönemde arıtma tesisine gelen MP miktarı giriş noktasında (MP4) 191,3 MP/L iken deşarj suyunda (MP5) 38,7 MP/L, kurak dönemde ise giriş noktasında 175 MP/L, deşarj suyunda 24,1 MP/L olarak tespit edilmiştir. Tatlar-AAT'de MP giderim verimliliği incelendiğinde yağışlı dönemde %80, kurak dönemde ise %86 olarak tespit edilmiştir.

Ülkemizde yapılan çalışmalar incelendiğinde; Adana İli'nde bulunan iki atıksu arıtma tesisinde kurak dönemde Seyhan Atıksu Arıtma Tesisinde %73, Yüreğir Atıksu Arıtma Tesisinde ise %79 oranında mikroplastiklerin giderildiği tespit edilmiştir (Gündoğdu vd., 2018). Yine yapılan başka bir çalışmada İstanbul Ambarlı Atıksu Arıtma Tesisinde %93, Denizli Merkezi Atıksu Arıtma Tesisinde ise %95 oranında mikroplastiklerin uzaklaştırıldığı bildirilmiştir (Koyuncuoğlu ve Erden, 2023; Vardar, 2020). Marmara Denizi'ne deşarj eden Gebze Atıksu Arıtma Tesisinde de ikincil arıtım sonrası %89,9-%91 oranında mikroplastiklerin gideriminin sağlandığı belirtilmiştir (Erkan vd., 2023).

Mersin Körfezi'nde bulunan Karaduvar, Tarsus ve Silifke Atıksu Arıtma Tesislerinde yapılan bir yıllık çalışmada mikroplastiklerin yaklaşık %90 oranında arıtıldığı tespit edilmiştir (Akarsu vd., 2020).

Arıtma tesisleri mikroplastiklerin çevreye dağılan kollarından birisidir. Finlandiya'da belediyenin işletmesinde bulunan Aktif Çamur Prosesli Atıksu Arıtma Tesisi'nde yapılan çalışmada MP giderim verimliliğinin %98,3 olduğu tespit edilmiştir (Lares vd., 2018).

Aktif Çamur Prosesi, Koagülasyon, Hızlı Kum Filtrasyonu (RSF) ve UV bazlı AOP/Klor Dezenfeksiyonu gibi farklı proses tipinde bulunan laboratuvar ölçekli atıksu arıtma tesislerinde yapılan çalışmada kum filtrasyonunda % 98, aktif çamur prosesinde %61, koagülasyon ünitesinde ise %55 oranında MP'lerde giderim sağlandığı tespit edilmiştir (Na vd., 2024)

Avustralya'nın Viktoria eyaletinde lagün sistemi ve aktif çamur sistemlerinde çalışan atıksu arıtma tesislerinde iki yıl boyunca yapılan çalışmada lagün sistemli atıksu arıtma tesisinde arıtma verimliliğinin %97, aktif çamurlu lagün sisteminde ise mikroplastik uzaklaştırma verimliliğinin %98,4 olduğu tespit edilmiştir (Fan vd., 2023).

Hollanda'da yapılan bir çalışmada arıtma tesislerinden kanallara yayılan mikroplastik konsantrasyonunun (48-187 MP/L) aralıklarında olduğu tespit edilmiştir (Leslie vd., 2017; Talvitie vd., 2017a; Vardar, 2020). AAT tesislerinin ikincil arıtmadan sonra mikroplastiklerin tutma kapasiteleri %99'a ulaşmaktadır. Bununla birlikte yüksek temizleme performansına rağmen gelişmiş atıksu arıtma tesisleri büyük miktarlarda atıksuları su ortamına deşarj etmekte ve önemli miktarlarda mikro çöp ve mikroplastik kaynağı oluşturmaktadır (Talvitie vd., 2017b). Arıtma tesisine gelen suyun fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliği, bulunduğu lokasyon, nüfus yoğunluğu ve arıtma tesisinin çalışma prensibi ve performansı mikroplastik kirliliğini etkileyen önemli faktörlerdendir. Atıksu arıtma tesislerine kırsal, kentsel ve endüstriyel alanlardaki mikroplastiklerin giriş yoğunluklarında farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Evsel nitelikli arıtma tesisi ile endüstriyel alanlardaki atıksu arıtma tesislerinde ortalama mikroplastik konsantrasyonu 70-73 MP/L iken kırsal alanda AAT'de ise ortalama değerin 98 MP/L olduğu tespit edilmiştir. Bunun temel nedeninin ise mikroplastik yoğunluğuna sahip alanların bulunması olarak açıklanmıştır (Yang vd., 2022).

İkincil ve üçüncül arıtım yapan 21 atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmada tesislerde sırasıyla ortalama %88 ve %94 giderim sağlandığı ve mikroplastiklerin çoğunun ön ve birincil arıtım sırasında %72 oranında uzaklaştırıldığı belirtilmiştir (Iyare vd., 2020). Arıtma teknolojileri MP'lerin gideriminde en büyük etkindir. Gelişmiş teknolojiler ile mikroplastiklerin %99,4'ü giderilirken geleneksel aktif çamur prosesli teknolojilerde %98,3 oranında temizleme sağlandığı, birincil, ikincil ve üçüncül arıtım yapan 3 farklı atıksu arıtma tesisinde mikroplastiklerin atıksulardan %75 ile %91,9 arasında değişen oranlarda etkili bir şekilde giderildiği, üçüncül arıtım işlemlerinden sonra ise >%98 oranında uzaklaştırıldığı tespit edilmiştir (Hidayaturrahman vd., 2019).

Mikroplastiklerin giderim verimliliğinin uzaklaştırılan mikroplastiklerin boyutu ve türü ile ilişkili olduğu ortaya konulmuştur (Sharma vd., 2023). Literatür çalışmalarında atıksularda 30'dan fazla MP şekli tespit edilmiştir (Sun vd., 2019; Zhang ve Chen, 2020; Zhang vd.,2020). Genel olarak, fiberler en büyük orana sahipken (%25-75), onu sırasıyla fragmentler (%15-65), filmler (%8-24), mikroboncuklar (%5-12), köpük (%1-3) ve diğerlerinin (%1-2) takip ettiği saptanmıştır (Ali vd., 2021).

Çamaşır makinalarından kaynaklanan AAT' lerde fiber yapılı MP'lerin giderimi diğer mikroplastik şekillerinin giderilmesinden çok daha zor olduğu ve önemli miktarlarda ortama fiber yapılı mikroplastiklerin yayılım gösterdiği yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Yapılan birçok çalışma incelendiğinde AAT'de mikroplastik şekillerine ait giderim oranlarının sırasıyla %90> %85> %70 fragment> film> fiber olduğu tespit edilmiştir (Bilgin vd., 2020).

Üç farklı atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmada mikroplastiklerin birincil bileşenleri genellikle boyutları 10 ila 100 µm arasında değişen fiberler olarak tanımlanmıştır (Li vd., 2024). Bölgenin kültür yapısı, halkın yaşam tarzı, numunenin alındığı bölgeye bağlı olarak atıksu arıtma tesislerinde mikroboncuklar da fiberler kadar önem taşımaktadır. Özellikle kozmetikte kullanılan mikroboncuklar malzemeye doku veya görsellik kazandırmak amacıyla eklenmekte, son kullanma sürelerinin uzamasına, aşındırıcı maddelerin ortadan kalkmasına ve malzemenin kolayca durulanmasına katkı sağlamasından dolayı tercih edilmektedir (Hidayaturrahman vd., 2019). 1 gr-1,6 gr temizleyici diş macunlarından yaklaşık 4000 polietilen salındığı tespit edilmiştir (Alvim vd., 2020; Zhang ve Chen 2020).

Fiberler, evsel yıkamalardan ve tekstil endüstrilerinden, araç lastiklerinin vb. parçalanmasıyla oluşmaktadır. Ambalaj ürünlerinin erozyonundan kaynaklı oluşan mikroplastikler, özellikle yağmur suyu ve atıksu kanallarının birlikte bulunduğu birleşik kanal sistemleri vasıtasıyla atıksu arıtma tesislerine taşındığının tespiti yapılmıştır (Kittipongvises vd., 2022).

Köpüklerin büyük olması ve parçalanmalarının zor olması nedeniyle atıksularda nadiren de olsa köpük parçacıkları görülmektedir (Ali vd., 2021; Zhang vd., 2020). Gündoğdu vd., (2018) tarafından iki atıksu arıtma tesisinden yapılan çalışmada üç farklı tipte mikroplastik tespit edilmiştir. Seyhan ve Yüreğir AAT'lerin her ikisinde de hem giriş hem de çıkış suyunda yüksek miktarlarda fiber tespit edilmiştir. Seyhan AAT çıkış suyunda %44,4; Yüreğir AAT çıkış suyunda ise %86,5 oranında olduğu saptanmıştır. 21 atıksu arıtma tesisinde yapılan araştırmanın tamamında fiberlerin baskın mikroplastik şekli olduğu görülmüştür (Iyare vd., 2020; Zhang ve Chen, 2020). Amerika Birleşik Devletleri'nde 17 atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmada fiberler %59 oranında, fragmentlerinde %33 oranında olduğu tespit edilmiş, MP'lerin %57'sinin boyutlarının 0,125 mm ile 0,355 arasında değişkenlik gösterdiği, %43'ünün ise boyutlarının 0,355 mm'den büyük olduğu tespit edilmiştir (Alvim vd., 2020; Mason vd., 2016).

Bu tez çalışmasında da yağışlı ve kurak dönemlerde alınan örnekler incelenmiş ülkemiz ve dünya literatüründe yapılan çalışmalarla karşılaştırılması yapılmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tatlar Atıksu Arıtma Tesisinde de tespit edilen MP tipleri fiber, fragment, film, mikroboncuk ve köpük olurken yağışlı dönemde %79,50 oranında ve kurak dönemde %69,80 oranında baskın MP tipinin fiber olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar; Atıksu arıtma tesislerinden fiber yapılı mikroplastiklerin uzaklaştırılmasına ilişkin çalışmalara önem verilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Mikroplastikler renkleri baz alınarak incelendiğinde literatürde sıklıkla karşılaşılan renklerin beyaz, siyah, kırmızı ve mavi olduğu görülmüştür (Iyare vd., 2020; Ziajahromi vd., 2021). Çin'de yapılan 7 atıksu arıtma tesisinde mikroplastiklerin renk dağılımının ağırlıklı olarak %27,3'ünün beyaz, %31,3'ünün de şeffaf olduğu bildirilmiştir (Long vd., 2019).

Atıksu arıtma tesislerinde yapılan birçok çalışma genel olarak incelendiğinde tesis girişinde şeffaf rengin en büyük oranı oluşturduğu (%40-75), ardından siyah (%30–55), mavi (%15–32), kırmızı (%12–18), yeşil (%3–20), beyaz (%5-40), sarı (%3-30) turuncu (%8-16), mor (%7-13), kahverengi (%5-18) ve pembe (%2-15) olduğu tespit edilmiştir.

Renk çeşitliliğinin oldukça fazla olması atıksulara büyük miktarlarda tekstil malzemesi, kişisel bakım ve kozmetik ürünlerine ait atıkların karışması ile açıklanabilmektedir (Ali vd., 2021; Kittipongvises vd., 2022; Yang vd., 2021; Ziajahromi vd., 2021). Mersin körfezine deşarj edilen üç atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmalarda baskın renklerin şeffaf, kahverengi ve siyah olduğu, bunları turuncu ve mor renklerin takip ettiği tespit edilmiştir (Akarsu vd., 2020).

Çalışmamızda, yağışlı ve kurak dönemde toplam 12 farklı renk türü belirlenmiştir. Yağışlı dönemde arıtmaya gelen kollar üzerinde MP1 istasyonunda siyah renk %34,04 oranında, mavi renk ise %28,27 oranında, MP2 istasyonunda siyah rengin %28,13 oranında, mavi rengin ise %17,56 oranında olduğu tespit edilmiştir. MP2 istasyonunda ayrıca kırmızı renginde %25,87 oranında yüksek miktarlarda olduğu görülmüştür. MP3 istasyonunda siyah rengin %22,09 oranında, mavi rengin ise %24,98 oranında olduğu tespit edilmiştir. Arıtma tesisi giriş (MP4) suyunda siyah rengin %30,9 oranında, mavi rengin ise % 26,76 oranında olduğu tespit edilmiştir. Arıtma tesisinin deşarj suyu (MP5) incelendiğinde ise siyah rengin %32,04 oranında, mavi rengin de %19,64 oranında olduğu bulunmuştur.

Kurak dönemde ise MP1 istasyonunda baskın rengin %26,5 oranında beyaz olduğu, MP2 istasyonunda siyah rengin %23,36 oranında baskın bulunduğu tespit edilmiştir. MP3 istasyonunda ise %26,76 oranında mavi olduğu belirlenmiştir. Arıtma tesisi giriş suyunda (MP4) siyah rengin %22,51 oranında mavi rengin ise %24,97 oranında baskın renkler tespit edilmiştir. Arıtma tesisi deşarj suyunda (MP5) ise şeffaf rengin %24,07 ve beyaz rengin %19,50 olduğu tespit edilmiştir. Kurak ve yağışlı dönemlerde alınan tüm numuneler incelendiğinde baskın renklerin siyah ve mavi renkleri olduğu sonrasında beyaz ve şeffaf renklerin hakim olduğu görülmüştür.

Yapılan birçok çalışma incelendiğinde atıksu arıtma tesislerinin girişinde 45'in üzerinde polimer türü tespit edilmiş, en baskın türlerin PS (%20–90), polyester (%40–75), PE (%5–60), PP (%2–40), polietilen tereftalat (PET, %3–38), poliamid (PA, %2–35) ve akrilat (ACRYL, %2–28) olduğu görülmüştür (Ali vd., 2021). Tayland'ın Nonthaburi kentindeki bir atıksu arıtma tesisinde 2019-2020 yılları arasında yağışlı ve kurak dönemde alınan numunelerde Polipropilen (PP), polietilen (PE) gibi polimer tipleri tespit edilmiştir (Kittipongvises vd., 2022).

Genellikle atıksularda belirlenen polimer türleri incelendiğinde tekstil, sentetik giyim ve tıbbi cihazlarda yaygın olarak kullanılan polyester (PES), poliamidler (PA) polietilen tereftalat (PET)'lerin olduğu, kişisel bakım ve kozmetik ürünlerinde, su şişelerinde, plastik çatal bıçak takımlarında ve gıda ambalaj poşetlerinde kullanılan PE, PS ve PP polimerlerin olduğu görülmüştür. Tespit edilen polimerlerin büyük bir kısmının günlük hayatımızda kullanılan malzemelerden köken aldığı ortaya konulmuştur (Ali vd., 2021; Mason vd., 2016; Ziajahromi vd., 2017; Xu vd., 2020).

Ülkemizde Adana İli Seyhan ve Yüreğir AAT'lerinde yürütülen çalışmada giriş ve çıkış sularında 7 farklı polimer tipi belirlenmiştir. Ancak her iki AAT'de en yüksek oranda polyesterlerin olduğu tespit edilmiştir 49 plastik polimer arasında; %51'i polietilen (PE), %35'i polipropilen (PP), %6'sı akrilik elyaf, %4'ü polistiren (PS) ve %4'ü selüloz asetat olduğu tespit edilmiştir (Gündoğdu vd., 2018). Mersin Körfezinde üç atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmada polietilen (PE), polipropilen (PP) parçacıklarının beyaz, sarı turuncu, şeffaf, mavi, kırmızı vb. gibi renklere sahip olduğu ve geniş bir renk yelpazesi içerisinde olduğu bulunmuştur (Akarsu vd., 2020).

Ortama deşarj edilen atıksularda bulunan mikroplastiklerin polimer türlerine ait çalışmalar değerlendirildiğinde Talvitie vd., (2017b) tarafından yapılan çalışmada toplamda 13 polimer türü tespit edilmiştir. Bu türlerden %60 oranında PES'lerin hakim olduğu, onu da %14 ile PE takip ettiği belirtilmiştir. PES'lerin ve PE'lerin çoğunun tekstil ve kişisel bakım ürünlerinden gelen mikroboncuklardan oluştuğu görülmüştür. Lares vd., (2018) tarafından yapılan çalışmada arıtma tesisi giriş suyunda Polyester (PES), çoğunlukla polietilen tereftalat (PET)'lerin tamamının fiber yapılı (%79,1) olduğu saptanmıştır.

Aynı arıtmanın yakınlarında bulunan gölden alınan numunelerde ve PES, PE ve çeşitli polimerler tespit edilmiştir. Bu durum deşarj sularında tespit edilen polimerlerin arıtmadan geçerek çevreye salındığının göstergesi olarak ifade edilmiştir (Lares vd., 2018).

Aktif Çamur Sistemli AAT'nin deşarj suyunda %98 oranında PES, MBR teknolojili AAT sistemlerinde ise PES'lerin oranının %90 olduğu belirtilmiştir (Lares vd., 2018). Yapılan başka bir çalışmada mikroplastiklerinden %62,68 PP, %31,6 %21,9 PE, %10, 1 PS gibi polimerler olduğu tespit edilmiştir (Long vd., 2019). Vietnamda 3 atıksu arıtma tesisinde yapılan çalışmalarda çoğunlukla fragment ve fiberlerin bulunduğu, polimer türü olarak da PET, PE, PVC içeren mikroplastikler olduğu bulunmuştur. Genel olarak bakıldığında hakim olan polimer türlerinin PP, PE, PS ve PET olduğu tespit edilmiştir (Do vd., 2022).

Çalışmamızda yağışlı ve kurak dönemi temsil eden toplam 198 örnek üzerinden polimer yapıları karakterize edilmiş, 13 farklı polimer türü tespit edilmiştir. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) spektroskopisiyle polimer yapıları karakterize edilen MP'lerde hem yağışlı hem de kurak dönemde baskın polimer türlerin %26,3 oranı ile polietilen (PE), %20,2 oranında polipropilen (PP) ve % 13,13 oranında polistiren (PS) olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında uyumlu olduğu görülmüştür. Atıksu arıtma tesisleri mikroplastikleri atıksulardan uzaklaştırılacak şekilde tasarlanmadıklarından arıtmadan sonra da mikroplastiklerin varlıklarına rastlanılmaktadır.

Su ortamlarına salınan mikroplastikler ortama girdikten sonra tehlikeli bir madde halini alırlar. Özellikle düzensiz formdaki zararlı kirleticiler mikroplastiklerle adsorbsiyon yoluyla kolayca karışır ve canlıların mikroplastiklere maruz kalmalarıyla birlikte toksik etki oluşturlar (Chae ve An, 2018; Hidayaturrahman vd., 2019; Lambert vd., 2017., Li vd., 2018). Literatür taramalarına bakıldığında atıksu analizlerinde 50 µm, 100 µm ve 500 µm elek boyutlarının en sık tercih gözenek çapları olduğu görülmüştür. Ancak yapılan birçok çalışmada çok küçük boyutlu parçacıkların tespitinin yapılması için (<0,1 µm) aralığında da inceleme ve araştırmanın önemi ortaya çıkmıştır (Ali vd., 2021).

Çalışmamızda, 300, 100 ve 10 µm farklı göz açıklıklarına sahip elek sistemi kullanılmış, 10-100 µm boyut aralığında yağışlı dönemde %77,42 oranında kurak dönemde ise %72,46 oranında baskın olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, atıksu arıtma tesislerinde MP gideriminin verimliliği, tasarım ve işletme gibi değişkenlerden etkilenmektedir. Mevcut teknolojiler ağırlıklı olarak mikroplastiklerin çamur ve katı atıklarda tutulmasını sağlarken, tamamen uzaklaştırılması için kapsamlı bir çözüm sunmamaktadır. Biyolojik arıtma süreçleri mikro boyuttaki parçaların tamamen ortadan kaldırılması için yetersizdir. Yapılan çalışmalar mikro kirleticilerin tamamiyle uzaklaştırılabilmesi için AAT'lerin alt arıtma basamaklarının da dahil edilmesi gerekliliğini ve tesislerin iyileştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda AAT'lerde MP eliminasyonunun verimliliğini arttırmayı amaçlayan çeşitli arıtma aşamalarına ilişkin kapsamlı araştırmalar ve çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmalar, MP'lerle ilintili karmaşık özellikleri, onlarla olan etkileşimleri ve MP'lerin tamamen uzaklaştırılma mekanizmalarını dikkate alarak, çeşitli teknolojilerin ve yaklaşımların araştırılmasını kapsamalıdır. Mikroplastik kirleticilerin gideriminde kapsamlı ve entegre arıtma stratejileri gerektiğinden dikkatli düşünülmelidir. Amaç, yalnızca etkili MP giderimini hedeflemek değil aynı zamanda mikro kirleticilerle mücadelede etkinlik gösteren entegre arıtma sistemleri geliştirmek, uygulamak ve yenilikçi arıtma teknolojilerini ortaya koyarak araştırmak, değerlendirmek ve takip etmektir. Atıksularda MP'leri doğru analiz ve karakterize etmek için analitik teknikler ve metodolojilerdeki ilerlemeler takip edilmelidir. En önemlisi AAT'lerin izlenmesi olup, arıtma süreçlerinin verimliliğinin ve salınan kirleticilerin çevresel etkisinin değerlendirilmesi yapılarak mevzuat çerçevesinde plastik dönüşümünün hayata geçirilmesinin önemini ortaya koymaktır.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen bulgular dikkate alındığında Tatlar-AAT'den deşarj edilen MP kirlilik yükünün daha düşük oranlara çekilebilmesi için farklı giderim teknolojilerinin de karşılaştırılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Son yılların küresel sorunu olan mikroplastik giderimi için yeni inovatif çözümlere acil ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Acarer, S. 2023. Microplastics in wastewater treatment plants: sources, properties, removal efficiency, removal mechanisms, and interactions with pollutants, *Water Science & Technology*, 87(3), 685-710.
- Ahmed, S.F., Islam, N., Tasannum, N., Mehjabin, A., Momtahir, A., Chowdhury, A.A., Almomani, F., Mofijur, M., 2024. Microplastic removal and management strategies for wastewater treatment plants, *Chemosphere*, 347, 140648.
- Akarsu, C., Kumbur, H., Gökdağ, K., Kıdeyş, A., Sanchez-Vidal, E., 2020. Microplastics composition and load from three wastewater treatment plants discharging into Mersin Bay, north eastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110776.
- Akça, M.O. ve Ok, S.S., 2021. Toprak ekosistemi üzerine mikroplastiklerin etkileri, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(2) 79 – 91.
- Akdogan, Z. ve Guven, B., 2019. Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs, *Environmental Pollution*, 254, 113011.
- Ali, I., Ding, T., Peng, C., Naz, I., Sun, H., Li, J., Liu, J., 2021. Micro- and nanoplastics in wastewater treatment plants: Occurrence, removal, fate, impacts and remediation technologies – A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 423, 130205.
- Allen, D., Allen, S., Sonke, J., Phoenix, V., 2019. Atmospheric transport and our planetary boundary layer as an environmental compartment of microplastics pollution. In: *Proceedings of the International Conference on Microplastic Pollution In the Mediterranean Sea*. Springer Water. Springer, Cham, Capri, pp. 1–8.
- Almas, F. F., Bezirci, G., Çağan, A. S., Gökdağ, K., Çırak, T., Kankılıç, G. B., Tavşanoğlu, Ü. N., 2022. Tracking the microplastic accumulation from past to present in the freshwater ecosystems: A case study in Susurluk Basin, Turkey, *Chemosphere*, 303, 135007
- Alvim, C.B., Mendoza-Roca, J.A., Bes-Pia, A. 2020. Wastewater treatment plant as microplastics release source – Quantification and identification techniques, *Journal of Environmental Management*, 255, 109739.
- Amobonye, A., Bhagwat, P., Raveendran, S., Sing, S., Pillai, S., 2021. Environmental impacts of microplastics and nanoplastics, *Microbiotechnology*, a section of the journal *Frontiers in Microbiology*, 768297.
- Andray, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62, 1596-1605.

- Auta, H., Emenike, C., Fauziah, S., 2017. Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions, *Environment International*, 102, 165–176.
- Atakan, O., Yüceer, M., Caner, C., 2019. Mikroplastikler ve gıda güvenliği, *Dergipark, Akademik Gıda*, 19(4),433-441.
- Aytan, Ü., Esensoy, F. B., Şentürk, Y., Güven, O., Karaoğlu, K., Erbay, M., 2023. Plastic occurrence in fish caught in the highly industrialized Gulf of İzmit (Eastern Sea of Marmara, Türkiye), *Chemosphere*, 324, 138317.
- Aytan, U., Valente, A., Senturk, Y., Usta, R., Esensoy S, F.B., Mazlum, R.E., Agirbas, E., 2016. First evaluation of neustonic microplastics in Black Sea waters, *Marine Environmental Research*,05.009.
- Baresel, C. ve Olshammar, M., 2019. On the importance of sanitary sewer overflow on the total discharge of microplastics from sewage water, *Journal of Environmental Protection*, 10, 1105-1118.
- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364, 1985–1998.
- Bayraktar, H. ve Erkmén, B., 2023. Atıksuların su kalite parametrelerinin değerlendirilmesi ve tarımsal sulama suyu olarak kullanımı: Ankara örneği, *Dergipark, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2791-9161.
- Bilgin, M., Yurtsever, M., Karadagli, F., 2020. Microplastic removal by aerated grit chambers versus settling tanks of a municipal wastewater treatment plant, *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101604.
- Blair, R. M., Waldron, S., Gauchotte-Lindsay, C., 2019. Average daily flow of microplastics through a tertiary wastewater treatment plant over a ten-month period. *Water Research*, 163, 114909.
- Boucher, J. ve Friot, D., 2017. Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources. *IUCN International Union for Conservation of Nature and Natural Resources*, 978-2-8317-1827-9.
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C. H., Peters, R. J. B., 2015. Potential health impact of environmentally released micro- and nanoplastics in the human food production Chain: Experiences from nanotoxicology, *Environmental Science Technology*, 49 (15), 8932-8947.
- 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, 5026-5031.

- Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E.L., Tonkin, A., Galloway, T., 2011. Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks, *Environmental Science Technology*, 45:9175–79.
- Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G., 2016. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants, *Water Research*, 91, 174-182.
- Carpenter, E.J. ve Smith, Jr, K.L., 1972. Plastics on the Sargasso sea surface, *Science*, 175-4027, 1240-1241.
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., Uricchio, V.F., 2020. A Detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health, *Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1212.
- Campanale, C., Galafassi, S., Savino, I., Massarelli, C., Ancona, V., Volta, P., Uricchio, V.F., 2022. Microplastics pollution in the terrestrial environments: Poorly known diffuse sources and implications for plants, *Science of the Total Enviroment*, 805-150431.
- Chae, Y. ve An, Y.J., 2018. Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: a review, *Environmental Pollution*, 240: 387-395.
- Chen, J., Wu, J., Shrrell, P.C., Chen, J., Wang, H., Zhang, W., Yang, J., 2022. How to build a microplastics-free environment: strategiesfor microplastics degradation and plastics recycling, *Avanced Science*, 9, 6.
- Chen, X., Chen, X., Zhao, Y., Zhou, H., Xiong, X., Wu, C., 2020. Effects of microplastic biofilms on nutrient cycling in simulated freshwater systems. *Science of the Total Environment*, 719, 137276.
- Contreras–Llin, A. ve Diaz-Cruz, M. S., 2024. Microplastic removal in managed aquifer recharge using wastewater effluent, *Environmental Pollution*, 342, 122967.
- Crossman, J., Hurley, R. R., Futter, M., Nizzetto, L., 2020. Transfer and transport of microplastics from biosolids to agricultural soils and the wider environment, *Science of the Total Environmental*, 724, 138334.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S., 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review, *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588–2597.
- Corradini, F., Meza, P., Equilız, R., Casado, F., Huerta-Lwanga, E., Geissen, V., 2019. Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal, *Science of the Total Environment*, 671, 611-420.
- Çağlayan, H.S., ve Aytan, Ü., 2020. Mikroplastiklerin deniz çevresinde neden olduğu ekiler, *Doğanın Sesi, Sudaki Yaşam*, 3:6,44-56.

- Çakmak, Ö. ve Acaröz, U., 2021. Su kaynaklarında mikroplastiklerin varlığı ve insan sağlığı açısından önemi, Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni, 2667-8381, 12 (2): 79-88.
- Çevik, C., Kıdeys, A.E., Tavşanoğlu, Ü.N., Kankılıç, B.G., Gündoğdu, S., 2021. A review of plastic pollution in aquatic ecosystems of Turkey, Environmental Science and Pollution Research, 11356-021-17648-3.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü 2015-2023, Atıksu arıtımı eylem planı, 2015, Ankara.
- Do, M.V., Le, T.X.T., Vu, N.D., Dang, T.T., 2022. Distribution and occurrence of microplastics in wastewater treatment plants, Environmental Technology Innovation, 26, 102286.
- Dong, X., Zhu, L., He, Y., Li, C., Li, D., 2023. Salinity significantly reduces plastic-degrading bacteria from rivers to oceans, Journal of Hazardous Materials, 451, 131125.
- Duis, K. ve Coors, A., 2016. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects, Environment Sciences Europe, 28 (1):2.
- Dyachenko, A., Mitchell, J., Arsem, N. 2017. Extraction and identification of microplastic particles from secondary wastewater treatment plant (WWTP) effluent, Analytical Methods, 9(9), 1412–1418.
- Erkan H.S., Emik H. H., Onkal Engin G., 2023. Microplastics in advanced biological wastewater treatment plant of Kocaeli, Turkey: point source of microplastics reaching Marmara Sea, International Journal of Environmental Science and Technology, 1-22.
- Enfrin, M., Dumée, L.F., Lee, J., 2019. Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes, origin, impact and potential solutions, Water Research, 161, 621-638.
- Fan, L., Mohseni, A., Schmidt, J., Murdoch, B., Gao, L., 2023. Efficiency of lagoon-based municipal wastewater treatment in removing microplastics, Science of the Total Environment, 876, 162714.
- Fan, W., Qiu, C., Qu, Q., Hu, X., Mu, L., Gao, Z., Tang, X., 2023. Sources and identification of microplastics in soils, Soil and Environmental Health, 1-100019.
- Galgani, F., Filo, D., Van Franeker, J., Katsanevakis, S., Maes, T., Mouat, J., Oosterbaan, L., Poitou, I., Hanke, G., Thompson, R., Amato, E., Birkun, A., Janssen, C., 2010. Marine strategy framework directive, Publication Office of the European Union, 978-92-79-15653-3.

- 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 (5), 504–512.
- 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.
- Gupta, N., Parsai, T., Kulkarni, H. V., 2024. A review on the fate of micro and nano plastics (MNPs) and their implication in regulating nutrient cycling in constructed wetland systems, *Journal of Environmental Management*, 350, 119559.
- Gündoğdu, S., Çevik, C., Güzel, E., Kilercioğlu, S., 2018. Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations, *Environ Monitoring Assess*, 190(11): 626.
- Hale, R.C., Seeley, M.E., La Guardia, M.J., Mai, L., Zeng, E.Y., 2018. A global perspective on mikroplastics, *Jounal of Geophyscal research: Oceans*, 125 (1), e2018jc014719.
- Hernandez, E., Nowack, B., Mitrano, D. M., 2017. Polyester textiles as a source of microplastics from households: a mechanistic study to understand microfiber release during washing, *Environmental science and technology*, 51(12), 7036-7046.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., Thiel, M., 2012. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification, *Environmental Science Technology*, 20; 46(6): 3060-75.
- Hidayaturrahman, H. and 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.
- Huang, D., Tao, J., Cheng, M., Deng, r., Chen, S., Yin, L., Li, R., 2020. Microplastics and nanoplastics in the environment: macroscopic transport and effects on creatures, *Journal of Hazardous Materials*, S0304-3894(20)32389-X.
- Ivleva, N.P., C. Wiesheu, Niessner, R., 2017. Microplastic in Aquatic Ecosystem, *Angewandte Chemie, A Journal of the German, Chemical Society*, 6; 56(7): 1720-1739.
- Iyare, P. U., Ouki, S. K., Bond, T. 2020. Microplastics removal in wastewater treatment plants: a critical review, *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(10), 2664-2675.
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*, 347, 768-771.

- Jones, J. I., Vdovchenko, A., Cooling, D., Murphy, J. F., Arnold, A., Pretty, J. L., Resmini, M., 2020. Systematic analysis of the relative abundance of polymers occurring as microplastics in freshwaters and estuaries. *International Journal Environment. Research. Public Health*, 17 (24), 1–12.
- Karasik, R., Vegh, T., Pickle, A., and Virdin, J., 2020. 20 Years of government responses to the global plastic pollution problem the plastics policy inventory, NI X 20-05, Duke University, Nicholas Institute for Energy, Environment & Sustainability, Policy Solut, 1–309. ABD.
- Karbalaei, S., Hanachi, P., Walker, T., Cole, M. 2018. Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution, *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 36046, 11356-018-3508-7.
- Kankılıç, B.G., Koraltan, İ., Erkmén, B., Çağan, A.S., Çırak, T., Özen, M., Seyfe, M., Altındağ, A., Tavşanoğlu, Ü.N., 2023. Size-selective microplastic uptake by freshwater organisms: Fish, mussel, and zooplankton, *Environmental Pollution*, 336, 122445.
- Kazancı, N., Aytun, A., Günok, E., 2018. Kanlıgöl ve Ankara'nın kent kimliğini oluşturabilecek yerbilimsel özellikler, *Ankara Araştırmaları Dergisi*, 6(1), 97-109.
- Kittipongvises, S., Phetrak, A., Hongprasith, N., Lohwacharin, J., 2022. Unravelling capability of municipal wastewater treatment plant in Thailand for microplastics: Effects of seasonality on detection, fate and transport. *Journal of Environmental Management*. 302, 113990.
- Kim, M-J., Na, S-H., Batool, R., Byun, I-S., Kim, E-J. 2022. Seasonal variation and spatial distribution of microplastics in tertiary wastewater treatment plant in South Korea, *Journal of Hazardous Materials*, 438, 129474.
- Koelmasn, A.A., Redondo Haselerharm, P.E., Nor Mohamed, N.H., Rujiter, V.N., Mintenig, S.M., Kooi, M., 2022. Risk assessment of microplastic particles, *Nature Reviews Materials*, 7 (2), 138-152.
- Koyuncuoğlu P. ve Erden G., 2023. Microplastics in municipal wastewater treatment plants: a case study of Denizli/Turkey. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 17(8), 99.
- Krishnan, R.Y., Manikandan, S., Subbaiya, R., Karmegam, N., Kim, W., Govarathanan, M., 2023. Recent approaches and advanced wastewater treatment technologies for mitigating emerging microplastics contamination—A critical review, *Science of the Total Environment*, 858-1, 159681.
- Lambert, S., Scherer, C., Wagner, M., 2017. Ecotoxicity testing of microplastics: Considering the heterogeneity of physicochemical properties, *Integrated environmental assessment and management*, 13(3), 470-475.

- Lares, M., Ncibi, M. C., Sillanpaa, M., Sillanpaa, M., 2018. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology, *Water Research*, 133 (15), 236–246.
- Leslie, H.A, Brandsma, S.H., van Velzen, M.J.M., Vethaak, A.D., 2017. Microplastics en route: Field measurements in Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota, *Environmental International*, 101, 133-142.
- Li, J., Liu, H., Chen, J. P., 2018. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water research*, 137, 362-374.
- Li, Y., Qin, T., Bai, X., Wu, W., Chen, X., Shen, M., Duan, X., 2024. Occurrence and removal of microplastics in tertiary wastewater treatment plants: A Case Study of Three Plants in Zhengzhou, China. 12(4), 803.
- Lu, Y., Li, M.C., Lee, J., Liu, C., Mei, C., 2023. Microplastic remediation technologies in water and wastewater treatment processes: current status and future perspectives, *Science of the Total Environment*. 868, 161618.
- Lusher, A. L., Brate, I. L. N., Munno, K., Hurley, R. R., Welden, N. A., 2020. Is it or isn't it: The importance of visual classification in microplastic characterization, *Environmental Science, Materials Science*, 74(9), 1139–1153.
- Luo, Y., Xie, H., Xu, H., Zhou, C., Wang, P., Liu, Z., Yang, Y., Huang, J., Wang, C., Zhao, X., 2023. Wastewater treatment plant serves as a potentially controllable source of microplastic: Association of microplastic removal and operational parameters and water quality data, *Journal of Hazardous Materials*, 441, 129974.
- Long, Z., Pan, Z., Wang, W., Ren, J., Yu, X., Lin, L., Lin, H., Chen, H., Jin, X., 2019. Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China, *Water Research*, 155, 255-265.
- Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Rogers, D. L., 2016. Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent, *Environmental pollution*, 218, 1045-1054.
- Masura, J., Baker, J., Arthur, C., 2015. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment, recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments, NOAA Technical Memorandum, NOS-OR&R-48.
- Michielssen, M.R., Michielssen, E.R.; Ni, J., 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, 1064-73.

- Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Löder, M. G., Primpke, S., Gerdt, 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.
- Mintenig, S., Löder, M., Primpke, S., Gerdt, G., 2019. Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources, *Science of the Total Environment*, 648, 631-635.
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F. and Quinn, B., 2016. Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environment Science Technology*, 50 (11), 5800–5808,
- Na, S. H., Kim, M. J., Kim, J., Batool, R., Cho, K., Chung, J., Kim, E. J., 2024. Fate and potential risks of microplastic fibers and fragments in water and wastewater treatment processes, *Journal of Hazardous Materials*, 463, 132938.
- Napper, I.E., Baroth, A., Barrett, A.C., Bhola, S., Chowdhury, G.W., Davies, F.R.B., Duncan, M.E., Kumar, S., Nelms, E.S., Niloy, H.N.Md., Nishat, B., Maddalene, T., Thompson, C.R., Koldewey, H., 2021. The abundance and characteristics of microplastics in surface water in the transboundary Ganges River, *Environmental Pollution*, 274, 116348.
- O'Brien S., Rauert, C., Ribeiro, F., Okoffo, E.D., Burrows, S.D., O'Brien, J.W., Wang, X., Wright, S.L., Thomas, K.V., 2023. There's something in the air: A review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere, *Science of the Total Environment*, 874, 162193.
- Ragoobur, D., Huerta-Lwanga, E., & Somaroo, G. D., 2021. Microplastics in agricultural soils, wastewater effluents and sewage sludge in Mauritius, *Science of the Total Environment*, 798, 149326.
- Raju, S., Carbey, M., Kuttykattil, A., Senathirajah, K., Subashchandrabose, S.R., Evans, G., Thavamani, P., 2018. Transport and fate of microplastics in wastewater treatment plants: implications to environmental health, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 11157-018-9480-3.
- Rainieri, S. ve Barranco, A., 2019. Microplastics, a food safety issue? *Trends in Food, Science and Technology*, 84, 55-7.
- Perren, W., Wojtasik, A., Cai, Q., 2018. Removal of microbeads from wastewater using electrocoagulation. *ACS Omega*, 3 (3), 3357–3364.
- Plastics Europe, 2019. *Plastics The Facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data*. URL Adres: <https://plasticseurope.org/> Erişim tarihi: 12.03.2022.
- Rochman, C.M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S.J. 2013. Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress, *Scientific Reports*, 3: 32–63.

- Prata, J. C., Da Costa, J. P., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T., 2019. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 110, 150-159.
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C. and Rocha-Santos, T., 2020. Environmental exposure to microplastics: an overview on possible human health effects, *Science of the Total Environment*, 702, 134455.
- Salmi, P., Ryymin, K., Karjalainen, A.K., Mikola, A., Uurasjarvi, E., Talvite, J., 2021. Particle balance and return loops for microplastics in a tertiary-level wastewater treatment plant, *Water Science & Technology*, 84(1), 89.
- Sharma, A., Pandit, P.P., Chopade, L.R., Nagar, V., Aseri, V., Sing, A., Awasthi, K.K., Awasthi, G., Sankhla, M.S., 2023. Eradication of microplastics in wastewater treatment: Overview biointerface research in applied, *Chemistry*, 13, 3, 223.
- Schirinzi, G.F., Perez-Pomeda, I., Sanchis, J., Rossini, C., Farre, M., Barcelo, D., 2017. Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells, *Environmental Research*, 159, 579-587.
- Smyth, K., Drake, J., Li, Y., Rochman, C., Van Seters, T., Passeport, E., 2021. Bioretention cells remove microplastics from urban stormwater, *Water Research*, 191, 1, 16785.
- Sol, D., Laca, A., Laca, A., Díaz, M., 2022. Wastewater treatment approaches to remove microplastics: microfibre incidence and fate. In *Polluting Textiles* Routledge. (pp. 153-184).
- Sridharan, S., Kumar, M., Singh, L., Bolan, S.N., Saha, M. 2021. Microplastics as an emerging source of particulate air pollution: A critical review, *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126245.
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C., Ni, B., 2019. Microplastics in wastewater treatment plants: detection, occurrence and removal, *Water Research*, 152 (1), 21–37.
- Üstün-Odabaşı, S., Maryam, B., Özdemir, N., Büyükgüngör, H. 2020. Occurrence and seasonal variations of pharmaceuticals and personal care products in drinking water and wastewater treatment plants in Samsun, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79(12), 311.
- Tagg, A. S., Harrison, J. P., Ju-Nam, Y., Sapp, M., Bradley, E. L., Sinclair, C. J., Ojeda, J. J., 2017. Fenton's reagent for the rapid and efficient isolation of microplastics from wastewater, *Chemical Communications*, 53(2), 372–375.
- 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 (15), 401–407.

- 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 (1), 164–172.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., Russell, A. E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838-838.
- Turner, S., Horton, A. A., Rose, N. L., Hall, C., 2019. A temporal sediment record of microplastics in an urban lake, London, UK. *Journal of Paleolimnology*, 61(4), 449-462.
- Vardar, S., 2020. Removal and discharge of microplastics from the wastewater treatment plants in Istanbul, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A.D., Winther-Nielsen, M., Reifferscheid, G., 2014. Microplastics in freshwater ecosystems: What we know and what we need to know, *Environmental Sciences Europe*, 26: 12.
- Wang, Z., Lin, T., Chen, W. 2020. Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP), *Science of the Total Environment*, 700, 134520.
- Wei, S., Luo, H., Zou, J., Chen, J., Pan, X., Rousseau, D. P. L. and Li, J., 2020. Characteristics and removal of microplastics in rural domestic wastewater treatment facilities of China, *Science of the Total Environment*, 739, 139935.
- Wu, Z., Dong, J., Wu, Y., Zhao, Y., Wang, H., Zhao, X., Lihui, A. N. 2024. Mass-based fates of microplastics throughout wastewater treatment processes. *Chemical Engineering Journal*, 487, 150497.
- Xu, B., Liu, F., Cryder, Z., Huang, D., Lu, Z., He, Y., Wang, H., Lu, Z., Brookes, P.C., Tang, C., Gan, J., Xu, J., 2020. Microplastics in the soil environment: Occurrence, risks, interactions and fate—a review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(21): 2175-2222.
- Yurtsever, M., 2018. Küresel plastik kirliliği, nano mikroplastik tehlikesi ve sürdürülebilirlik, Çevre Bilim ve Teknoloji, Türkdoğan, F.İ., İskender, F.G., Tüfekçi, N., ve Övez, S., 1, 978-605-7594-06-8, 171-197. Güven Plus Grup A.Ş., İstanbul.
- Yang, F., Li, D., Zhang, Z., Wen, L., Hu, E., Li, M., Gao, L.İ., 2022. Characteristics and the potential impact factors of microplastics in wastewater originated from different human activity, *Process Safety and Environmental Protection*, 166, 78-85.

Ziajahromi, S., Neale, P.A., Rintoul, L., Leusch, F.D., 2017. Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewaterbased microplastics, Water Research, 112, 93–99.

Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., Sillanpaa, M., 2020. Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives, Earth-Science Reviews, 203, 103118.

Zhang, Z., Chen, Y., 2020. Effects of microplastics on wastewater and sewage sludge treatment and their removal: A review, Chemical Engineering Journal, 385-122955

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

URL-1 < <https://www.epa.gov>>, Erişim tarihi: 23.12.2023.

URL-2 <<https://pagev.org>>, Erişim tarihi: 17.8.2023.

URL-3 < <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr>>, Erişim Tarihi: 20.03.2023.

URL-4 <<https://www.garantibbva.com.tr/blog/mikroplastik-nedir>>, Erişim tarihi: 20.7.2023.

URL-5 <<https://www.google.com/maps>>, Erişim Tarihi: 07.03.2023.

URL-6 <<https://www.tuik.gov.tr>>, Erişim Tarihi: 14.12.2023.

URL-7 < <https://www.aski.gov.tr>>, Erişim Tarihi: 18.05.2022.

URL-8 <<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx>>, Erişim Tarihi: 23.03.2024.

URL-9 <<https://www.aso2osb.org.tr>>, Erişim Tarihi: 25.12.2023.

URL-10 <<http://www.ivedikosb.org.tr>>, Erişim Tarihi: 25.10.2023.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Hatice BAYRAKTAR

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
Bölümü, 1994-1999

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı,
2014-2017

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Uzaktan Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi Eğitim Sertifikası, 2023. İstanbul Şişli Meslek Yüksekokulu Çalışanların İş Sağlığı Ve Güvenliği Çok Tehlikeli Sınıfta Yer Alan İş Yerleri Eğitimi, 43976.
2. Uzaktan Eğitim Uygulama ve Araştırma Merkezi Eğitim Sertifikası, 2023. İstanbul Şişli Meslek Atık Yönetimi Eğitimi, 43949.
3. Ankara'da iklim dostu ve döngüsel plastik değer zinciri için yol haritası, 2022. GEF Küçük Destek Programı, Türkiye.
4. Ankara Valiliği Vektör Mücadelesi Komitesi Üyeliği, 2015. Ankara.
5. II. Ulusal Vektör Sempozyumu Sertifikası, 2015. Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
6. Bayraktar, H., Mesul Müdür, 2013. Halk Sağlığı Alanında Zararlılarla Mücadele, Mesul Müdür Sertifika Eğitimi, Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 28 Mart-1 Nisan, Antalya.
7. Ulusal Vektör Sempozyumu Katılım Sertifikası, 2013. Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
8. III. Biyosidal Kongresi Katılım Sertifikası, 2012. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Kurumu, Antalya.
9. Vektör Sempozyumu Katılım Sertifikası, 2011. Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
10. Çevre Yüksek Mühendisi, Yeşil Alanlar Şube Müdürlüğü, Güvenlik Şefi, 2005-., Ankara Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ankara.

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR

Bayraktar, H., Erkmen, B., 2023. Atıksuların su kalite parametrelerinin değerlendirilmesi ve tarımsal sulama suyu olarak kullanımı: Ankara Örneği. Dergipark, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2791-916.

