

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAMULA BARAJI MİKROPLASTİK KİRLİLİK
SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

LEVENT CEYLAN

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Şeyda ERDOĞAN

YOZGAT – 2022

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAMULA BARAJI MİKROPLASTİK KİRLİLİK
SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

LEVENT CEYLAN

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Şeyda ERDOĞAN

Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi tarafından 6602a-FEN/21-464 kodu ile desteklenmiştir.

YOZGAT - 2022

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan eder, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İMZA

LEVENT CEYLAN

...../...../.....

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAMULA BARAJI MİKROPLASTİK KİRLİLİK SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

LEVENT CEYLAN

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİYOLOİ

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ ŞEYDA ERDOĞAN

Geçen yüzyılda plastik materyal üretimi ve kullanımı hızla artış göstermiştir ve gelecek yıllarda da bu artışın devam edeceği öngörülmektedir. Plastik materyal üretiminin bu denli artışının esas sebepleri materyalin, ucuz, dayanıklı ve kolay şekil verilebilir olmasıdır. Üretilen plastik materyalin büyük kısmı doğal ekosistemlere terk edilmektedir ancak plastiğin doğal sistemlerde dekompoze olması söz konusu değildir. Plastik materyaller çevresel faktörlerin etkisi ile daha küçük parçacıklara ayrılmaktadır. Plastik parçacıklardan boyutu 5 mm'den daha küçük olanlar mikropplastik olarak adlandırılmaktadır. Kirlilik boyutu her geçen gün artış göstermesine rağmen plastik kirliliğinin boyutları, özellikle tatlı su ekosistemleri üzerine olan etkileri henüz tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Bu çalışmada Yamula barajının su ve sediment örneklerinde mikropplastik kirliliği seviyesi araştırılmıştır. örnekler 5 farklı istasyondan temin edilmiştir. Su örnekleri manta kepçesi ile, sediment örnekleri ise Ekman kepçesi ile temin edilmiştir. Plastik parçacıkların organik materyalden ayrıştırılmasında hidrojen peroksit kullanılmıştır. Sonrasında stereo mikroskop sayımı ile plastik materyallerin renk, şekil ve boyut dağılımı belirlenmiştir. Su örneklerinde tespit edilen mikropplastik sayısı ($0,59 \text{ MP/m}^3$) sediment örneklerinde tespit edilenden ($0,12 \text{ MP/g}$) daha fazla olmuştur, ayrıca fiber tipi hem sediment hem su örneklerinde en yoğun tespit edilenler olmuştur. Plastik materyal türevlerinin belirlenmesinde μ -Raman cihazı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre en yoğun tespit edilen plastik türevi polipropilen (% 67) olmuştur.

2022, 60 sayfa

ANAHTAR KELİMELE: Mikropplastik, Yamula Barajı, Manta kepçesi, Kızılırmak, Kayseri.

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION OF MICROPLASTIC POLLUTION LEVEL IN YAMULA DAM WATER SAMPLES TITLE OF THE THESIS

LEVENT CEYLAN

**YOZGAT BOZOK UNIVERSITY
SCHOOL of GRADUATES STUDIES**

BİYOLOJİ DEPARTMENT

SUPERVISOR: Asst. Prof. Dr. ŞEYDA ERDOĞAN

In the last century, the production and use of plastic materials has increased rapidly and it is predicted that this increase will continue in the coming years. The main reasons for this increase in plastic material production is that the material is cheap, durable and easily shaped. Most of the plastic material produced is left to natural ecosystems, but it is not possible for plastic to decompose in natural systems. These plastic materials are broken down into smaller particles with the effect of environmental factors. Plastic particles smaller than 5 mm in size are called microplastics. Although the extent of pollution is increasing day by day, the extent of plastic pollution, especially its effects on freshwater ecosystems, has not been fully understood yet. In this study, the level of microplastic pollution in water and sediment samples of Yamula dam was investigated. Samples were obtained from 5 different stations. Water samples were obtained with a manta net, and sediment samples were obtained with an Ekman grab. Hydrogen peroxide was used to separate plastic particles from organic material. Afterwards, the color, shape and size distribution of the plastic materials were determined by stereo microscope counting. The number of microplastic material observed in the water samples (0, 59 MP/m³) was higher than the sediment samples (0,12 MP/g), and the fiber type was most intensely observed in both sediment and water samples. The μ -Raman device was used to determine the plastic material derivatives. According to the analysis results, polypropylene (67 %) was the most intensely detected plastic derivative.

2022, 60 pages

KEYWORDS: Microplastic, Yamula Dam, Manta net, Kızılırmak, Kayseri.

ÖNSÖZ

“ Yamula barajı mikroplastik kirlilik seviyesinin belirlenmesi ” konulu tez çalışmamda danışmanlığımı üstlenen, konu seçiminden araştırmanın yürütülmesinin her aşamasında desteğini ve bilgisini esirgemeyen bu süreçte rehberim olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Şeyda ERDOĞAN’ a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın analiz sürecinde desteğini esirgemeyen Kimya bölümünden Arş. Gör. Dr. Hatice ARI hocama teşekkür ederim.

Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Kodu: 6602a-FEN/21-464. Maddi desteklerinden dolayı Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

LEVENT CEYLAN

...../...../.....

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
TEZ BEYANI.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Plastiğin Çeşitleri ve Kullanım Alanları	2
2.2. Mikroplastik Nedir?	6
2.3. Mikroplastik Kaynağı ve Taşınımı.....	7
2.4. Mikroplastik Kirliliğinin Canlılar Üzerindeki Etkisi	11
2.5. Çalışmanın Amacı	15
3. MATERYAL ve YÖNTEM	17
3.1. Çalışma Alanı	17
3.2. Metot Aşamaları	18
3.2.1. Örneklerin Toplanması	18
3.2.2. Kurutma İşlemi	20
3.2.3. Peroksit Uygulaması (WPO).....	22
3.2.4. Yoğunluk Ayırımı	22
3.2.5. Vakum Pompası ile Ayırma.....	23
3.2.6. Mikroskop Analizi	24
3.2.7. Mikroplastik Raman Analizi.....	25
4. BULGULAR.....	26
4.1. Çevresel Parametreler.....	26
4.1.1. Sıcaklık.....	26
4.1.2. pH.....	26
4.1.3. Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS).....	27
4.1.4. İletkenlik	28

4.1.5. Secchi Disk ve Maksimum Derinlik	28
4.2. Mikroplastik Örnekleme Sonuçları	29
4.2.1. Su Örnekleri Mikroplastik Renk Dağılımı.....	31
4.2.2. Su Örnekleri Mikroplastik Tip Dağılımı.....	32
4.2.3. Su Örnekleri Mikroplastik Boyut Dağılımı	33
4.2.4. Sediment Örnekleri Mikroplastik Renk Dağılımı	34
4.2.5. Sediment Örnekleri Mikroplastik Tip Dağılımı.....	34
4.2.6. Sediment Örnekleri Mikroplastik Boyut Dağılımı.....	35
4.3. Mikroplastik Raman Analizi	36
5. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER.....	38
5.1. Sonuç.....	39
5.2. Öneriler.....	41
6. KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Günümüzde en çok kullanılan termoplastik çeşitleri (Shanks, 2012)	3
Tablo 2.2. Günümüzde en çok kullanılan termoset çeşitleri (Harper, 2006).....	3
Tablo 2.3. Partikül boyutlarına göre mikroplastiklerin sınıflandırılması (Eriksen, Lebreton, ve Carson, 2014).....	6
Tablo 2.4. Mikroplastik tipleri ve bazı kaynakları.....	7
Tablo 2.5. Bazı polimer çeşitleri ve yoğunlukları	7
Tablo 2.6. Plastik üretiminde kullanılan yaygın kimyasal maddeler.....	14
Tablo 2.7. Plastik yüzeyinde tutunan bazı kirleticiler	15
Tablo 5.1. MP üzerine yapılan bazı çalışmaların karşılaştırması.	39

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Şekillendirilme kabiliyetlerine göre polimerlerin sınıflandırılması	2
Şekil 2.2. Plastik Hammadde Üretimi (Pagev, 2021/6)	4
Şekil 2.3. Şimdiye kadar üretilmiş tüm plastiklerin üretim miktarları (Gayer, Jambeck, ve Law, 2017)	4
Şekil 2.4. Sektörlere göre küresel plastik üretim dağılımı (Gayer vd., 2017)	5
Şekil 2.5. Plastik atıkların yıllara göre işleme yöntem miktarları (Gayer vd., 2017)	5
Şekil 2.6. (a, b) Deniz suyunun stereo mikroskobu altında MP görüntüleri. (c-e) TEM altında mikroskobik plastik parçacık görüntüleri. Kırmızı oklar (c) plastik partikülleri, (d) bir cam elyafı ve (e) plastik tozu işaretler (Rios, 2015).....	6
Şekil 2.7. İnsan tüketimindeki bazı gıdalara bulaşan MP geçiş prosesi	13
Şekil 3.1. Kızılırmak nehri ve yamula baraj göleti görüntüsü	17
Şekil 3.2. Yamula Barajı üzerindeki örnekleme noktaları.....	18
Şekil 3.3. Yüzeyde bulunan MP örneklerinin toplanması için kullanılan manta kepçesi cihazı.....	19
Şekil 3.4. Manta kepçesi'nin uç kısmından bulunan, toplanan örneklerin rahat şekilde numune kaplarına alınmasını sağlamak için sökülebilen kısmı.....	20
Şekil 3.5. Sediment örneklerinin alınmasında kullanılan ekman kepçesi.....	20
Şekil 3.6. Kurutma işlemlerinde kullanılan etüv	21
Şekil 3.7. Sediment örneklerinin 24 saat çökme sonrası görünümü.	21
Şekil 3.8. Hidrojen peroksit uygulaması.....	22
Şekil 3.9. Yoğunluk ayırımında kullanılan armudi ayırma balonları	23
Şekil 3.10. Filtrasyon sistemi.....	24
Şekil 4.1. Su yüzeyi ve 1m derinlik için her istasyon için belirlenmiş olan sıcaklık değerleri	26
Şekil 4.2. Su yüzeyi ve 1m derinlik için her istasyon için belirlenmiş olan pH değerleri...	27
Şekil 4.3. Su yüzeyi ve 1m derinlik için her istasyon için belirlenmiş olan TDS değerleri	27
Şekil 4.4. Su yüzeyi ve 1m derinlik için her istasyon için belirlenmiş olan iletkenlik değerleri	28
Şekil 4.5. Örnekleme istasyonlarında belirlenen maksimum derinlik değerleri.....	29
Şekil 4.6. Örnekleme istasyonlarında belirlenen Secchi disk derinlik değerleri	29
Şekil 4.7. a) Su örneklerinde istasyonlarda belirlenen ortalama MP miktarı (m ³), b) Sediment örneklerinde istasyonlarda belirlenen ortalama MP miktarı (gr).....	30
Şekil 4.8. Su örneklerinde tespit edilen MP partiküllerinin renk yüzde dağılım değerleri..	31

Şekil 4.9. Su örneklerinde tespit edilen MP partiküllerinin tip yüzde dağılım değerleri	32
Şekil 4.10. Su örneklerinde tespit edilen MP partiküllerinin boyut yüzde dağılım değerleri	33
Şekil 4.11. Sediment örneklerinde tespit edilen MP partiküllerinin renk yüzde dağılım değerleri	34
Şekil 4.12. Sediment örneklerinde tespit edilen MP partiküllerinin S1 istasyonunda tip yüzde dağılım değerleri	35
Şekil 4.13. Sediment örneklerinde tespit edilen mikroplastik partiküllerinin istasyonlarda boyut yüzde dağılım değerleri	35
Şekil 4.14. Kütüphane eşleşmesi Raman spektrum örnekleri.....	36
Şekil 4.15. Tespit edilen polimer türev yüzdeleri.	37



SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp

Kısaltmalar	Açıklamalar
AYPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
FTIR	: Fourier Transform Infrared
IR	: Kızılötesi
MP	: Mikroplastik
PA	: Poliamid
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen tereftalat
PGA	: Polyglokolik Asit
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PU	: Poliüretan
PVA	: Polivinilalkol
PVC	: Polivinil klorür
PVDC	: Poliviniliden Klorid
TEM	: Taramalı elektron mikroskobu
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen

1. GİRİŞ

Plastik, organik ve inorganik elementler olan karbon (C), hidrojen (H), ve azotun (N) oluşturduğu monomer olarak adlandırılan küçük yapıdaki moleküller arasındaki bağlar kopartılıp, uzun ve zincirli bir yapıya dönüştürülerek polimer bir yapı kazanmış malzemelere denilmektedir. Plastik doğada hazır olarak bulunmaz ve üretimi için insan müdahalesi gerektirir. Plastik daha monomer yapıdayken hızlandırıcı, sıcaklık ve belirli bir basınç altında reaksiyona sokulmasıyla elde edilir. İlk üretilen plastik yarı sentetik malzeme 1832 yılından Henni Braconnot tarafından hazırlanan, nitrik asit ile ağaç lifleri ve selülozun birleştirilmesiyle elde edilen oldukça patlayıcı olan bir malzeme olan selüloz nitrattı. Daha sonra farklı iki bilim adamı hemen hemen aynı tekniği kullanarak farklı kimyasallarla nitroselülozu üretseler de bu malzemenin yanıcı olması seri üretimde kullanılmasını engelledi. Bir İngiliz olan Alexander Parkes nitroselülozu alkol ve kafur'la karıştırarak kauçuğun yerine kullanılabilecek ikame bir ürün olan parkesin'i keşfetti. Zamanla Parkes dâhil birçok bilim adamı yaptıkları geliştirmelerle yeni çeşit kullanışlı plastiklerin üretiminde katkıları olmuştur. Polimerik fenol-formaldehit reçine olan ve plastiğin ticarileşmesinde en önemli role sahip, 1907 yılında Amerikalı kimyager Leo Baekeland tarafından icat edilen bakalit plastik çağını başlatmıştır. Kendisinden önce üretilen malzemelerden daha sert ve kırılğan olan bu malzeme askeri malzemeler dahil birçok ev eşyası kozmetik ve elektrik malzemelerinde kullanılmıştır (Plastics Europe, 2015). Keşfedildikten sonra patenti alınan ilk gerçek sentetik plastik malzeme olan bakalit yanmayan malzeme olma özelliğinden dolayı kullanım yelpazesi genişlemiştir (Wessl, 2016). Daha sonra sırasıyla 1912 yılında selofan, 1926 yılında vinil, 1933 yılında polietilen, 1935 yılında naylon, 1936 yılında polistiren ve 1954 yılın polipropilen plastik türünün icat edilmesinden sonra sektör hızla genişlemiş ve günümüzde kullandığımız malzemelerin çok büyük kısmını plastik ve türevlerinden oluşacak şekilde geliştirmiştir (Yarsley ve Couzens, 1945). 1939-1945 yılları arasındaki 2. Dünya Savaşının büyük etkisiyle kolay işlenebilen, dayanıklı, bükülebilen kalıplanıp kaplanabilen bir malzeme olması sebebiyle üretim miktarı oldukça artmıştır (Andrady ve Neal, 2009). Kullanılacak sektörün ihtiyacına göre plastiklere çeşitli kimyasallar eklenerek üretilen malzeme yelpazesi her geçen gün genişlemektedir (Apme, 2006)

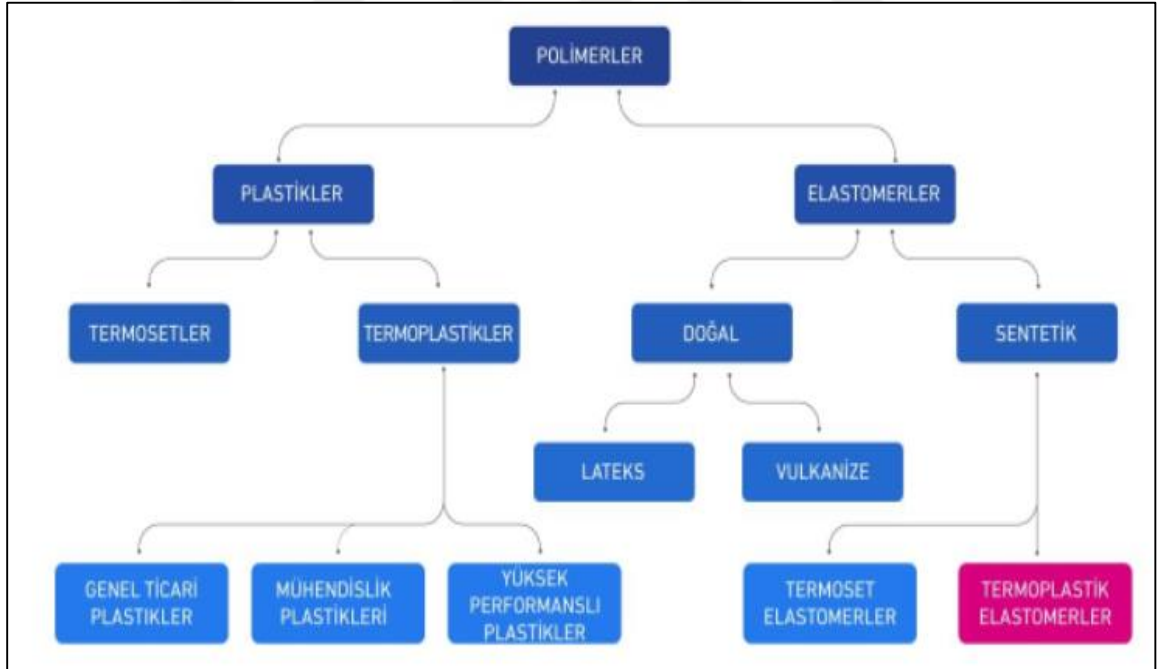
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Plastiğin Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Polimer tarihinin şimdiki ve gelecek zamandaki gelişiminin etkisiyle elektrikli eşyalar, bilgi teknolojileri, otomobil ve uçak sektöründe hafif plastik bileşeni içeren malzemelerin kullanılması, tıbbi ürünler ve günümüzde üretimin yaklaşık olarak üçte birinden fazlasını oluşturan ve en geç bir sonraki yıl içinde atılan tek kullanımlık malzemelerden oluşmaktadır (Barnes, Galgani, ve Thompson, 2009). Plastikleri ana gruplar olarak ayırdığımızda;

- a) Termoplasatikler
- b) Termosetler
- c) Elastomerler

olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.1. Şekillendirilme kabiliyetlerine göre polimerlerin sınıflandırılması

Termoplastikler, ısıtıldığında şeklini kaybeden, kalıplanabilen ve ısı ile yumuşama özelliğinden dolayı sıcaklık altında şekillenebilen polimerlerdir (Baeurle, Hotta, ve Gusev 2006). Termoplastik çeşitlerinin çok fazla olmasına rağmen kullanılan polimerler oldukça sınırlıdır. Tekrar kullanılabilirlik özelliğinde kimyasal madde kullanılmaması, geri dönüşüm

kapasitesinin fazlalığı, bu hammaddenin raf ömrünün uzun olması, çarpmaya karşı olan dayanıklılığı gibi sebeplerden dolayı tercih edilme yüzdesi yüksektir (Norman, 1987).

Tablo 2.1. Günümüzde en çok kullanılan termoplastik çeşitleri (Shanks, 2012)

Malzeme	Kullanım Alanları
Polietilen	Ana kullanım alanı paketlemedir. Plastik torbalar, filmler, şişeler gibi
Polipropilen	Çok geniştir. Otomotiv, yiyecek ve tekstil sektörü gibi
Polivinil klorür	Yapı sektöründe ve yenilenmeyen ürün paketlerinde
Polistren	Isı yalıtım malzemesi olarak
Naylon	Ana maddesi poliamid reçinesidir. Birçok ev eşyasında kullanılır. Dayanıklı ve esnektir.

Termosetler ise polimerik bağlarından dolayı şekil değiştirme kabiliyetleri termoplastiklere göre yok denecek kadar azdır (Gotro ve Prime, 2002). Bu bağları koparacak kadar ısı ile maruz kalırsa yanmaya başlar. Yüksek sıcaklıklarda bile mekanik özelliklerini koruyarak akışkan davranış göstermezler. Bu özellikleri ön planda olduğundan geri dönüşümde kullanılması çok düşüktür (Biron, 2003).

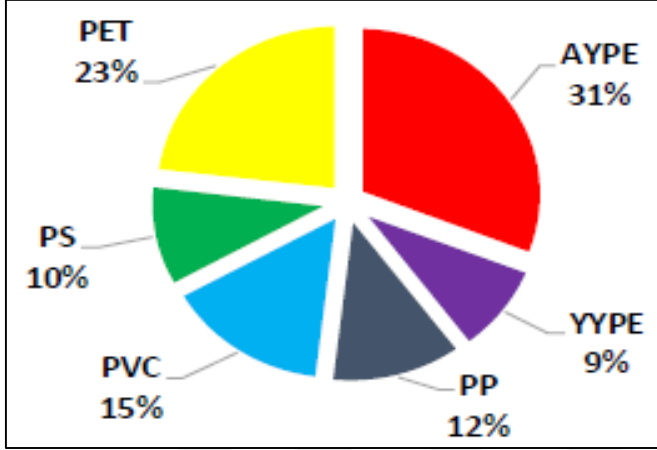
Tablo 2.2. Günümüzde en çok kullanılan termoset çeşitleri (Harper, 2006)

Malzeme	Kullanım Alanları
Poliüretanlar	Kuvvetli yapıştırıcılar, köpükler, contalar ve sentetik lifler
Reçineler	Vernik ve yapıştırıcılarda
Epoksiler	Metal kaplama, elektrik ve elektronik parçalar, boya fırçası imalatı.
Melaminler	Plastik madde üretiminde endüstriyel bir malzemedir.

Elastomerler ya da sentetik kauçukların en önemli özellikleri esnek ve elastik olmalarıdır. Oda sıcaklığında gerdirildiğinde uzunluklarının iki katına ve daha fazlasına ulaşabilmekte, bırakıldığında eski yapısına geri dönmektedir (Madhuchhanda, Mithun, ve Anil, 2015).

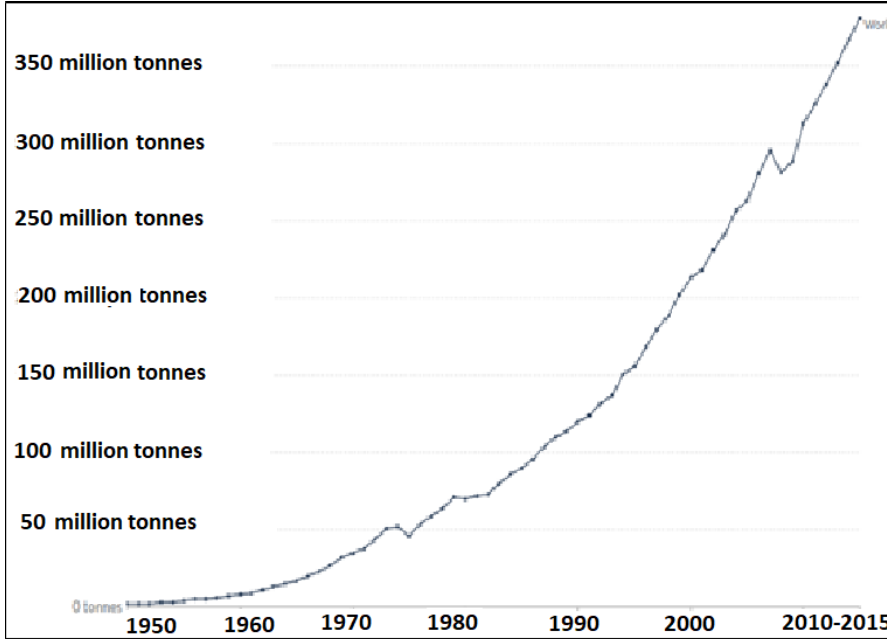
Plastik hayatımıza yoğun olarak sanayi ve makineleşmenin artmasıyla girmeye başlamış ve her geçen gün artmaya devam etmiştir. 20. yüzyıldan önce kullanımı daha seyrek olan bu malzeme çok yönlü kullanım olanaklarından kaynaklı olarak çok cazip hale

gelmiştir. [14] 2021 ilk 6 aylık döneminde plastik hammadde üretiminin 560 bin ton seviyelerinde olduğu Türkiye’de söz konusu dönemde üretilen toplam plastik hammaddenin %40 ını polietilen (PE), %23’ünü Polietilen tereftalat (PET), %15’ini polivinil klorür (PVC), %12’sini Polipropilen (PP), %10’unu da Polistiren (PS) oluşturmuştur (Pagev, 2021/6).



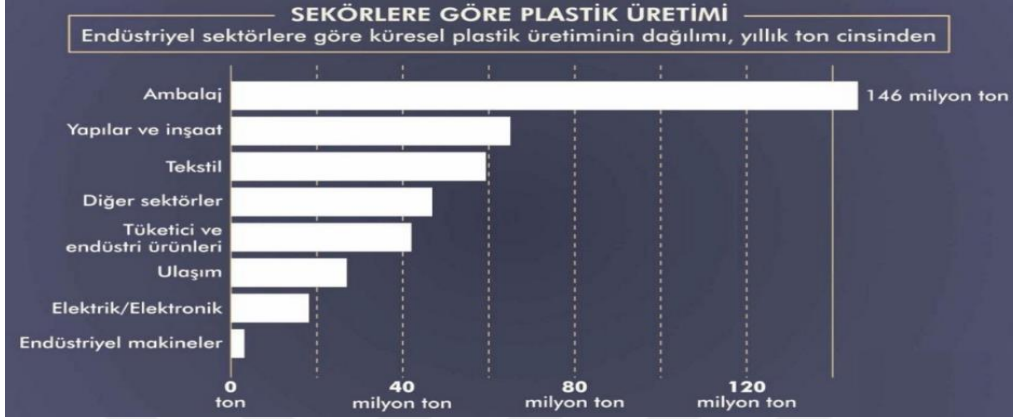
Şekil 2.2. Plastik Hammadde Üretimi (Pagev, 2021/6)

Plastiklerin okyanuslar dahil çevremize giriş miktarlarının büyüklüklerini anlayabilmek için üretimini, dağıtımını ve atık yönetim unsurlarının çok iyi bilmesi gerekmektedir (Jambeck, Gayer, ve Wilcox, 2015).



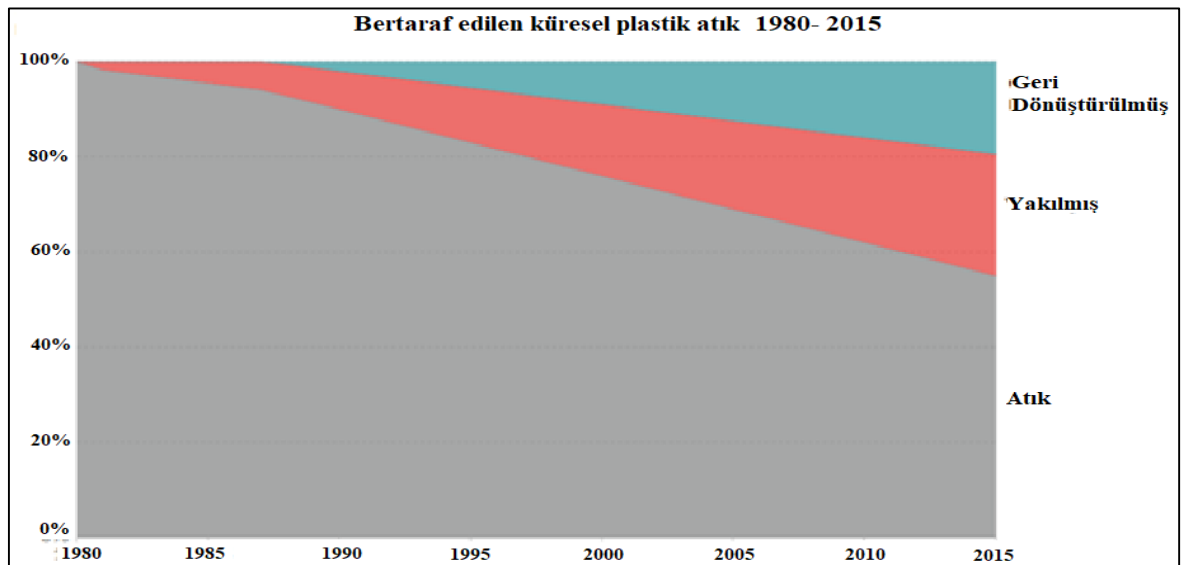
Şekil 2.3. Şimdiye kadar üretilmiş tüm plastiklerin üretim miktarları (Gayer, Jambeck, ve Law, 2017)

Küresel plastik üretimin artmaya başladığı yıl olarak kabul edilen 1950 yılında 2 milyon ton olan üretim 2015 yılında yaklaşık olarak 190 kat bir artışa uğramış ve 381 milyon tona ulaşarak yıllar geçtikçe orantısız olarak artışa devam etmektedir.



Şekil 2.4. Sektörlere göre küresel plastik üretim dağılımı (Gayer vd., 2017)

Sektörlere göre üretilen plastik malzemenin büyük bir bölümünü ambalaj malzemeleri oluşturmakla birlikte bu çoğunluk atık plastiklerinde ana kaynağını oluşturmaktadır. Yaklaşık olarak seri üretime 70 yıl önce başlayan plastik malzemelerin ömürlerinin ne kadar olacağı kesin olarak bilinmemekle birlikte, maruz kalınan UV, sıcaklık faktörü ve oksijen seviyelerine bağlıdır (Swift ve Wiles, 2004). Dünya üzerinde üretildikten ve kullanıldıktan sonra işlevlerini yitiren atıklar işlenmek için yakma, geri dönüşüm ve çöp olarak doğaya karışan polimerler olarak karşımıza çıkmaktadır (Bernardo vd., 2016).



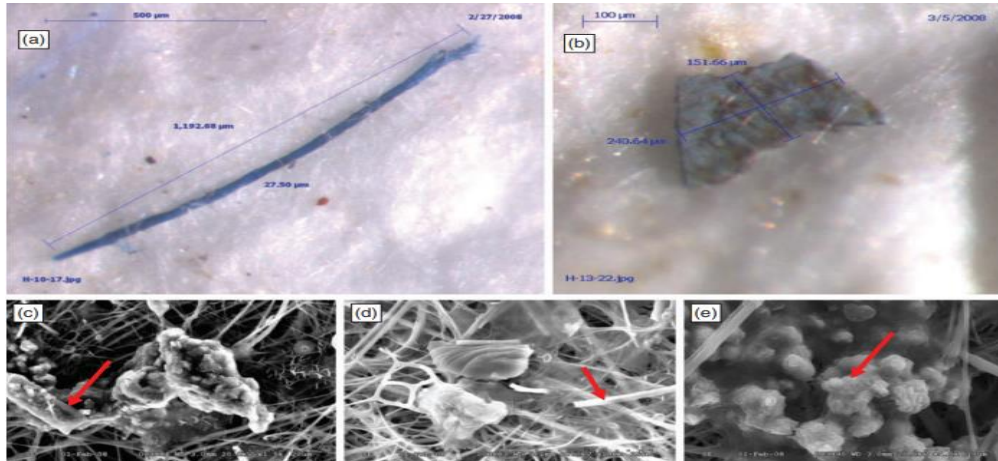
Şekil 2.5. Plastik atıkların yıllara göre işleme yöntem miktarları (Gayer vd., 2017)

2.2. Mikroplastik Nedir?

Plastiklerin güneş ışığı, dalga hareketleri, mikrobiyolojik faaliyetler gibi parçalayıcı etkenlerle daha küçük partiküllere parçalanması sırasında meydana gelmiş polimer yapıya mikroplastik (MP) denilmektedir (Choi, Hong, ve Park, 2019). Mikroplastik kavramı ilk olarak Thompson vd. tarafından ortaya atılarak, (Thompson, Olsen, ve Mitchell, 2004) boyutları 1µm ile 5 mm arasında değişen polimer parçacıklar olarak tanımlanmıştır (Frias ve Nash, 2019), (Sierra, Chialanza, ve Faccio, 2020). Bu parçacıkları boyutlarına göre sınıflandırabiliriz.

Tablo 2.3. Partikül boyutlarına göre mikroplastiklerin sınıflandırılması (Eriksen, Lebreton, ve Carson, 2014)

PARÇACIK KATEGORİSİ	ÇAĞ ARALIĞI (mm)
Nanoplastikler	< 0.0001 mm (0,1µm)
Küçük Mikroplastikler	0.0001 – 1 mm
Büyük Mikroplastikler	1 – 4.75 mm
Mezoplastikler	4,76 – 200 mm
Makroplastikler	>200 mm



Şekil 2.6. (a, b) Deniz suyunun stereo mikroskobu altında MP görüntüleri. (c–e) TEM altında mikroskobik plastik parçacık görüntüleri. Kırmızı oklar (c) plastik partikülleri, (d) bir cam elyafı ve (e) plastik tozu işaretler (Rios, 2015)

Sucul çevrelerde ve organizmalarda en çok görülen polimer tipleri arasında Poliamid (PA), Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polistren (PS), Polietilen tetaftalat (PET), Polivinil

klorür (PVC) bulunmaktadır (Huang, Qing, ve Wang, 2020). Bu polimerler bağlantı yapılarına ve tiplerine göre hem yüzebilirler hem de batabilme özelliklerinden dolayı su kolonu boyunca sedimentte bulunabilirler (Anderson, Park, ve Palace, 2016), (Choi, Hong, ve Park, 2019).

2.3. Mikroplastik Kaynağı ve Taşınımı

Mikroplastikler sucul ortamlara parçalanmadan girebildiği gibi; mekanik kuvvetler ve güneş ışığı etkisiyle parçalanarak da girebilirler (Kazour, Terkia, ve Rabhia, 2019).

Tablo 2.4. Mikroplastik tipleri ve bazı kaynakları

Birincil Mikroplastikler.	İkincil Mikroplastikler
Sabun	UV Radyasyon parçalanması
Yüz temizleyiciler	Mekanik aşınma yoluyla
Diş macunları ve kozmetikler	Mikrobiyolojik bozunma

Mikroskobik boyutlarda üretilen birincil MP'ler kozmetiklere ve cilt bakım ürünlerine katılarak tatlı ve tuzlu sularda tespit edilen parçacıkların büyük bir bölümünü oluştururlar (Duis ve Coors, 2016). Plastik'in icadından günümüze kadar olan dönemde oluşan polimer yapılar yoğunluklarına göre tatlı ve tuzlu sularda yüzeyde, su kolonunda ve sedim birikintilerinde yoğunluk özelliklerine göre bulunmaktadırlar.

Tablo 2.5. Bazı polimer çeşitleri ve yoğunlukları

PA	Polyamid	1.02-1.04 g.cm ⁻³
PC	Poli Karbonat	1.20-1.22 g.cm ⁻³
PE	Polietilen	0.917-0.965 g.cm ⁻³
PGA	Polyglokolik Asit	1.6 g.cm ⁻³
PP	Polipropilen	0.83-0.90 g.cm ⁻³
PS	Polistiren	0.96–1.05 g.cm ⁻³
PVDC	Poliviniliden Klorid	1.63 g.cm ⁻³
PU	Poliüretan	1.2 g.cm ⁻³

Plastik kullanım alanları içerisinde en fazla MP oranı, kişisel olarak kullanılan ürünler ve günlük hayatta kullandığımız tek seferde kullanılan ve kullanıldıktan sonra atılan malzemelerden oluşmaktaydı (Verschoor, De porter, ve Roex, 2014). Kaynaklarına göre

tespit edilen MP parçacıkları geometrik şekillere benzeyen biçimde bulunabildikleri gibi, granül, pelet, köpük, iplik, lif gibi değişik tiplerde olabilmektedir (Hidalgo-ruz, Gutow, ve Thompson). Karşılaşılan MP'ler temel aldığı plastiklerin renginde olabildikleri gibi, zamanla bozulma, taşıdığı kirleticiler, parçalanma ve zamanın etkisiyle soluk olarak görülebilirler. Kişisel bakım ürünlerine ve temizlik malzemelerine sonradan katılan MP parçacıkları ile beraber her yıl oranı artan sentetik iplik ve bunlardan üretilen elbiselerin yıkanması sırasında ortaya çıkan sentetik lifler evlerin atık su giderlerinden kanalizasyona karışmakta ve atık su arıtma tesislerine gelmektedir (Gesamp, 2016). Eğer bu tesislerde yeteri kadar arıtma işlemi olmazsa MP direkt olarak akarsulara ve diğer su kaynaklarına taşınmaktadır (Wu, Yang, ve Criddle, 2017). Ülkemizde yapılan MP kirlilik çalışmaları neticesinde akarsuları ve diğer su kaynaklarını en yüksek oranda kirletici olarak atıksu arıtma tesisleri gösterilmektedir (Akarsu, Kıdeyş, ve Kumbur, 2017). Japonya'da nehirler üzerinde yapılan MP çalışmalarında (Kataoka, Nihei, ve Kudou, 2019) ve Amerika Birleşik Devletlerinde en büyük 4 ırmağın birleştiği yer olan Chesapeake Körfezi'nde yapılan çalışmalarda tespit edilen MP yoğunluğunun nüfusa ve kullanılan arazinin yoğunluğuna göre arttığı tespit edilmiştir (Yonkos, Friedel, ve Perez-reyez, 2014). Arıtma tesislerinde arıtılamayan birincil MP'lerin okyanuslara taşınmasında en büyük kaynağı da nehirler oluşturmaktadır (Carr, Liu, ve Tesoro, 2016). Ayrıca nehirler ikincil MP kaynağı olarak iki farklı işlemle bu taşınma katkıları bulunmaktadır. İlki karada güneş ışınları ya da fiziksel etkenlerle daha küçük hale gelen plastik parçacıkların yağmur suyu kaynaklarıyla nehirlere ulaşması, diğeri ise tarım arazileri ve nehir yatağı kenarındaki arazilerden daha önce doğada zamanla parçalanmış olan MP parçalarının taşkın suları ile nehir yatağına ulaşmasıyla oluşur (Kershaw ve Rochman, 2016).

Amerika'da yedi farklı atık su arıtma tesisinde yapılan çalışmada plastik olmayan katı maddeler ayrıştırıldıktan sonra her bir tesis için filtrelenen parçacıkların boyut, renk ve tip ayrıştırması yapılarak MP miktarları tespit edilmiştir. Sistemin giriş ve çıkışından alınan örneklerde tespit edilen MP miktarının yüzdesel olarak oranı tespit edilmiş ve ortalama litrede 1 adet MP varlığına rastlanmıştır. Arıtma tesisine giren MP miktarı ile çıkan MP miktarı % 10 olarak ölçülmüştür (Carr vd., 2016). Doğaya sadece bu tesislerden giren ve arıtma işlemi sonrasında sucül ortamlara karışan MP miktarı küçümsenemeyecek kadar fazladır.

Yozgat ili çekerek çayı üzerinde sulama, enerji ve taşkın kontrol amacıyla 2004 yılında kurulan Süreyyabey Baraj Gölü'nde yapılan çalışmada ise dört örnekleme istasyonunda çeşitli ağ boyutları (300 ve 100 µm) kullanılarak MP'lerin tipi, şekli, plastik bileşenleri ve renkleri araştırılmıştır. MP'lerin tipi ve ağ boyutu arasındaki etkileşim arasında anlamlı farklılıklar görülmüştür. ($p < 0.05$). Liflerin, sırasıyla 330-µm ve 100-µm ağ boyutlarında bulunan toplam MP'lerin % 45 ve % 80'ini oluşturan en bol parçacık tipi olduğu bulunmuştur. Toplamda, baraj gölünde gözlenen MP bolluğu, sırasıyla 100-µm ve 330-µm ağ boyutları için 5.25 parçacık m³ ve 4.09 parçacık m³ idi. Tanımlanan MP'lerin rengi, MP türleri arasında farklılıklar göstermiştir; ancak, baskın renk her ağda şeffaf olarak bulunmuştur. MP'lerin başlıca plastik bileşenleri polietilen tereftalat, polivinil klorür, polistiren, polietilen ve polipropilen olarak bulunmuştur (Tavşanoğlu vd., 2020)

Çin'de yaklaşık olarak 20 milyon insanın su ihtiyacını karşılayan ve % 14 tarımsal alanlarda kullanılan Taihu Gölü'nün yüzeyinde ve dip çamurunda üç farklı noktadan yapılan çalışmanın sonuçlarına göre yüzey suyunda 3,4/25,8 adet/L, dip çamuru örneklerinde ise 11/234,6 adet/kg MP miktarı tespit edilmiştir (Akarsu vd., 2017).

Avustralya'da bulunan arıtma tesisinde diğer atık su arıtma tesislerinden farklı olarak MP yapısına benzer inorganik maddeleri ayırmak için yapılan filtreleme işleminden sonra boyama metodu kullanılmış ve bu maddelerin görsel olarak ayırt edilebilmesi sağlanmıştır (Ziajahromi, Neale, ve Rintolu, 2017). Diğer arıtma tesislerinden miktar olarak daha az miktarda MP olmasına karşılık sucul ekosistemlere en çok MP sızıntısının atık su arıtma tesisleri olduğu bilinmektedir.

Ülkemizde Yozgat ilinde atık su arıtma tesisinde yapılan başka bir çalışmada 5mm, 0,33mm ve 0,61 mm çapında elekler kullanılarak arıtma tesisinin giriş çıkışlarında MP miktarları tespit edilerek deşarj noktasında MP tutulumunun % 96 oranında olduğu tespit edilmiştir. En çok tespit edilen MP tipi fiber olarak bulunmuş ve kaynağının da petrol ürünü kaynaklı polistiren polimeri olduğu analizlerle ortaya çıkmıştır (Altug, 2020).

MP kaynakları arasında bir diğer etken turizm kaynaklı oluşumlardır. Ülkemizin turizm faaliyetlerini gerçekleştirdiği alanların başında deniz kıyı şeritleri ve akarsu kaynakları yakınları gelmektedir (Şener, 2019). Dünyanın en büyük endüstrisi olarak kabul edilen bu sektörün doğaya ve dolayısıyla su kolonlarına direkt ya da dolaylı yolla bıraktığı

plastik kaynakları arasında genelde tek kullanımlık malzemeler gelmektedir. Kolaylıkla küçük parçalara dönüşebilen bu malzemeler büyük MP kaynağı olarak kabul edilen kirleticiler arasında yerini alır.

Tarım sektörünün MP kirlilik seviyesindeki etkileri incelendiğinde, bitkilerin yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmesi için gerekli olan minerallere ihtiyacı vardır. Gübre fabrikalarında hazırlanmış ve daha uzun süre toprakta varlığını sürdürebilmesi için polimer malzeme ile kaplanmış makro mineral kaplamalar MP kirliliği oluşturuyor denilebilir. Ayrıca seraların üzerini örtmede kullanılan çadırlar, yabancı ot mücadelesinde kullanılan tüm malçlama işlemleri sırasında toprağa serilen plastik malzemelerin kirlilikleri de MP oluşumunda etken faktördür. Atık su arıtma tesislerinden gelen partikül olarak arıtma sistemi eleklerinden geçemeyecek kadar büyük olan partiküller gübre uygulamalarında kullanılmak amaçlı toprağa serilmektedir. Doğal azot kaynağı olduğu düşünülen bu atıkların aynı zamanda çok yüksek miktarda MP barındırdığı tespit edilmiştir (Singh ve Agrawal, 2020).

Karasal alanlarda meydana gelen plastik parçalanma olaylarından sonra plastik parçaların büyük bir bölümünün toplanma yeri akarsu kaynaklarına göre ya göller ya da denizler olmaktadır (Fendall, 2009). Ayrıca denizlerde gemi ve balıkçı tekneleri kaynaklı kirleticilerde ikincil MP kaynağı olarak denizlerde kirliliğin artmasında rol oynamaktadır. Balıkçı ağıları, eldivenler, ambalaj ipleri ve halatlar, poşetler, balık istiflemesinde kullanılan poliüretan kaynaklı petrol türevleri ve zamanla korazyona uğrayan gemi boyası kirleticiler olarak sayılabilir.

Dünyada iki milyara yakın araçta bulunan lastik partiküllerinin oluşturduğu ve her aracın kullanım ömrü boyunca ortalama olarak sekiz çift lastik eskittiği düşünüldüğünde kirlilik seviyesinin boyutları küçümsenemeyecek kadar büyüktür. Her ne kadar lastikler kauçuk malzemeden yapıldıkları için büyük oranda geri dönüşüme girseler de, büyüklüğüne göre orta nüfuslu bir ülke için kişi başı lastik tozu emisyon oranı bir kg ve civarında tespit edilmiştir (Gesamp, 2016). Ortaya çıkan bu MP kirleticilerin ne oranda su kolonuna katıldığı kesin olarak bilinmese de doğada bozunmadan bulunmaya devam etmektedir.

2.4. Mikroplastik Kirliliğinin Canlılar Üzerindeki Etkisi

Plastik üretiminin yaygın olarak kullanılmaya başladığı yıllardan günümüze kadar geçen sürede sektörel üretimdeki artışlar, kullanım alanındaki çeşitlilik, atık sisteminin ya olmaması ya da kötü yönetilmesi, gibi sebeplerle yeryüzündeki tüm alanlarda kullanılmayan atık olarak kabul ettiğimiz plastik parçalar bulunmaktadır. Bu parçaların ekosistemden hiçbir zaman kaybolmadıkları sadece yapılarındaki küçülmeler sebebiyle nano ya da mikro boyutlara küçülerek varlıklarını devam ettirdikleri biliniyor. Hava, su kolonları ve kara parçalarındaki etkileşimlerden dolayı sürekli olan hareketliliğe MP kirliliği de eşlik ediyor. Bu kirliliğin sucul ortamlara taşınmasında dereler ve akarsular, atmosferde taşınımına da rüzgârlar etkilidir. Yayılımı ve tehlikeli duruma ulaşan miktarı dünyanın her yerinde giderek artmaktadır (Yurtsever, 2019).

MP kirliliğinin etkilerini sucul ortamlarda yaşayan en küçük planktonlardan en büyük balıklara, karada yaşayan bitkilere, yaşamımızı sürdürdüğümüz karasal alanlara, karada yaşayan hayvanlara, atmosfere ve insanlığa olan etkilerini incelemek üzere birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların büyük bir kısmı var olan kirlilik miktarının tespiti yönünde olmuş ve tedbir alınması gereken alan dünya boyutunda olduğu için önlemler tavsiye boyutunu aşamamıştır.

MP'lerin, su piresi diye adlandırılan *Daphnia*'ların üremesine ve alglerin büyümesine olan etkilerini araştırmak üzere yapılan bir çalışmada, zooplanktonların bünyelerinde fosfor boyama yoluyla tespit edilen MP parçacıkların bulunduğu bununda *Daphnia*'ların üremesini ve yeşil alglerin fotosentezini olumsuz olarak etkiledikleri anlaşılmıştır. Ayrıca sucul ortamdaki bu MP parçacıklar alglerin fotosentez kabiliyetini olumsuz etkilediği ve dolayısıyla büyümesini durdurduğu tespit edilmiştir (Çatabaş, 2019).

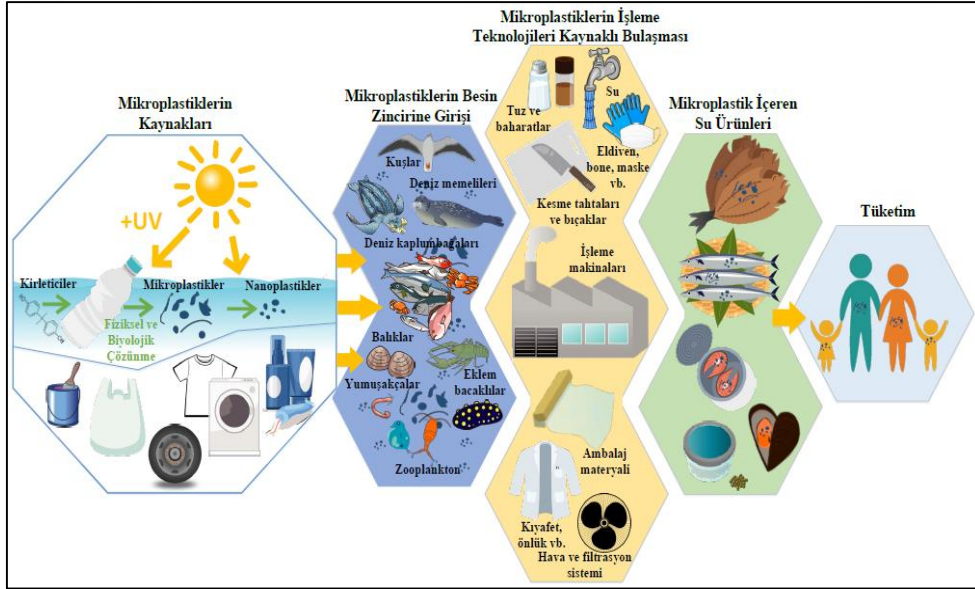
MB'ler parçacıkların küçük olması, su yüzeyinde ve su kolunu içerisinde polimer malzemenin özelliklerinden kaynaklı asılı kalabilmesi sebebiyle sucul ekosistemde her tarafa yayılmış vaziyettedir. Bu yayılma sucul ortamda yaşayan ya da ortamla dolaylıda olsa bağlantısı olan tüm canlıların bu kirlilikten etkilendikleri gerçeğini beraberinde getirmektedir (Wang, Gao, ve Jin, 2019). Kabuklu deniz canlıları, balıklar, midyeler ve balinalar gibi canlılar suyu filtre ederek beslendikleri için MP'lere maruz kalma oranları çok yüksektir. İkincil olarak büyük balıkların küçük balıkları yemesi de kaynak olarak gösterilebilir. Bu plastik parçalar genel olarak hayvanların sindirim sisteminde birikirler.

Yenilmek için temizlenme aşamasında sindirim sistemi çıkarıldığı için doğrudan etkisi olmadığı düşünülmektedir. Bu sistem kabuklu ve çift kabuklular için geçerli değildir. Yenildiği zaman sindirim sistemi de dahil komple yenildiği için MP alınmasında sorun teşkil etmektedir. Bununla ilgili Çin’de yapılan bir araştırmada midyelerin içinde beş parça / g olarak MP parçaları tespit edilmiştir (Rainieri ve Barranco, 2019), (Efsa, 2016). Midyeler zor şartlarda yaşayabilme özelliklerinden kaynaklı geniş alana yayılmışlardır. Ülkemizde kıyı şeritleri üzerinde 23 noktada yapılan midye çalışmalarında ortalama olarak her midyede 1,5 oranında MP parçacıklara rastlanmıştır. Polimer tipi olarak bu parçacıklar PET, PE ve PP olarak tespit edilmiştir (Gedik ve Eryaşar, 2020). Deniz ürünleri arasında ahtapot gibi yumuşakçalarda bu oran bakıların kırk midyelerin ise dört katı olarak tespit edilmiştir (Mohamed Nor, Kooi, ve Diepens, 2021). Her ne kadar iç organların temizlenmesi kirliliği en aza indirmede geçerli bir sebep olsa da, sindirim sistemi kaynaklı olduğu düşünülen levrek balığının kas dokusunda MP tespit edilmiştir (Browne, Dissanayake, ve Galloway).

İnsanların besin zincirinde yer alan işlenmiş ya da işlenmemiş birçok gıdada MP partiküllere rastlanmıştır. Artırılmış içme sularında ve pet sularda (Schymanski, Goldback, ve Humpf, 2018), cam şişelerde (Obmann, Sarau, ve Holtmannspötter, 2018), sofrta tuzunda (Peixoto, Pinheiro, ve amorim, 2019), (Gündoğdu, 2018), (Fadare, Okoffo, ve Olasehinde, 2021), Almanya’da yapılan ve beş farklı ülkeden temin edilen bal numunelerinde yapılan çalışmada lif ve parçacıklar tespit edilmiş. Bu parçacıkların çoğunluğu mavi renkte olup kovana arılar vasıtasıyla taşındığı düşünülmektedir (Liebezeit ve Liebezeit, 2013). Plastik üretimin büyük bir kısmını oluşturan tek kullanımlık ambalaj malzemelerinin onlarla temas eden gıda maddeleri üzerinde kirleticilik etkisi çok büyüktür (Alasalvar, Shahidi, ve Miyashita, 2010), (Du, cai, ve Zhang, 2020), (Wallace, Sperber, ve Mortimore, 2010).

Dünyada doğal olarak üretilen liflerin yerini sentetik olarak plastik tekstil liflerinin almasından sonra yıllık üretim hacmi 60 milyon metrik ton olan bu ürünlerin yıkıma, kullanım ve üretim aşamalarında ortama parçacık olarak salınımı tespit edilmiştir. Solunum yoluyla alınan bu parçaların büyük kısmı vücut ve akciğerler vasıtasıyla tolere edilebildikleri halde bir kısmı inflamasyona sebep olabilirler. En son Hollanda’da yapılan bir araştırmada steril vücut sıvısı olarak kabul edilen insan kanından hiçbir plastik türevi malzeme kullanılmadan alınan kan örneklerinde MP tespit edilmiştir (Heather, Martin, ve Sicco, 2022).

Şimdiye kadar bahsedilen plastik kirleticiler kaynaklı MP'lerin kaynaklarının nereler olduğu, hangi ortamda ne kadar bulunduğu, canlılar üzerine yapılan çalışmalarda elde edilen tespitleri, sanayi ve insan popülasyonu artışı kaynaklı bu sektöründe hacminin arttığı, mikro ve nano boyutta plastiklerin çevreye ve canlılara olan zararlarından bahsettik. MP'lerin canlılar için neden zararlı olarak nitelendirildiğini açacak olursak; her plastik parça üretimine göre ya da parçalanma sebeplerine göre keskin sınırlar ihtiva eden şekillerde olmayabilirler. Denizlerde bulunan plastik parçalar üzerinde yapılan araştırmada rastlanan mikrobiyal toplulukların bu deniz ortamda yaşayanlardan farklı olabildikleri görülmüş ve bu ekosisteme ait olmadıkları için hastalık vektörü olarak potansiyel tehlikeli olduğu düşünülmektedir (Adane ve Muleta, 2011).



Şekil 2.7. İnsan tüketimindeki bazı gıdalara bulaşan MP geçiş prosesi

Bazı insan patojenleri MP'ler üzerinde koloni halinde bulundukları tespit edilmiştir. Son yapılan araştırmalarda mikroplastiklerde farklı mikroorganizmalar arasındaki gen transferinin serbest oratamdaki mikroorganizmalara göre daha hızlı olduğu doğrulanmıştır. Bu nedenle ilaç dirençli patojenlerin deniz ürünleri ile beslenen insanlarda ciddi risk oluşturmaktadır (Imran, Das, ve Naik, 2018).

Başka bir çalışmada yumuşak plastik ve kauçuk malzemelerin mikrobiyal büyümeyi destekleyici özellik gösterdiği tespit edilmiştir. Daha çok çocuk ürünlerinde olan bu esnek malzemelerin yapısında bulunan karbon bazı mikroorganizmalar için besin özelliği taşımaktadır. Buna benzer plastik ürünlerin organik madde adsorbe edebilme özelliklerinden dolayı biyofilm tabakaları oluşturma özellikleri vardır (Neu, Banziger, ve Proctor, 2018).

MP'lerin tüketim miktarları üzerine bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. İnsan sağlığına olan uzun vadedeki etkileri tam olarak bilinmemekle birlikte bu kirleticilere maruz kalma miktarları ve süreleri önem taşımaktadır (Zeytin, Wagner, ve Mackay-Roberts, 2020).

Plastik üretim sürecinde kullanılan bazı kimyasal maddeler polimer yapısına bağlanmadığı için uygun ortamlarda plastiği terk etmektedir. Küçük parçalara ayrılan plastiklerin yüzey alanlarının genişlemesiyle kirleticilik etkisi artmaktadır (Wright ve Kelly, 2017). Üretim aşamasında istenilen son ürüne göre yaygın olarak konulan katkı maddeleri ve özellikleri şunlardır (Lusher, Welden, ve Sorbal, 2017).

Tablo 2.6. Plastik üretiminde kullanılan yaygın kimyasal maddeler

Plastik kimyasal katkıları		Kullanım Alanları
BPA	Bisphenol A	Epoksi reçine üretiminde
DMP	Dimethyl phthalate	Plastikleştirici
DEP	Diethyl phthalate	Cilt yumuşatıcı, koku düzeltici
NP	Nonylphenol	Gıda ambalajında
OP	Octylphenol	Plastikleştirici
HBCDs	Hexabromocyclodo Decane	Alev geciktirici
PBDEs	Polybrominated diphenyl ethers	PP, PS sabitleyici
TNP	Tris Nonylphenol phosphites	Plastikleştirici/ Stabilizatör

MP'lerin diğer bir etkisi de bulunduğu ortamdaki toksik kirleticileri ve kimyasalları adsorbe ederek bunların tutunumunu sağlar ve canlılar tarafından tüketilen bu MP'ler sindirim sisteminde ayrışarak emilime girerler. Bu kimyasal maddelerin çoğu genlerde değişiklik kaynaklı mutajenik ve kanserojen etki gösterirler. Polimerlerin yapı özelliklerinden kaynaklı kimyasal madde tutulumu farklı olur. Buna göre farklı yapıdaki polimerler farklı kirleticileri barındırabilirler (Rochman, Parnis, ve Browne, 2017). Ayrıca bu mikroplastiklerin barındırdığı toksik elementler, yağ hücrelerinin oluşmasına ve genişlemesine, obeziteye, sperm sayısının azalmasına, prostat tümörlerinin oluşmasına, göğüs dokusunun büyümesine, astıma, nörolojik hastalıklara ve diğer kanserlere yol açabilmektedirler. Ayrıca, beyindeki açlık ve tokluk merkezlerini etkileyerek bazal metabolizmayı yavaşlatarak etkili olmaktadır (Sharma ve Chatterjee, 2017).

İnsan kanındaki belirli immün hücrelerine (monositler ve dendritik hücreler) etkilerini anlamak amacıyla nanoplastik PVC lifleri kullanılarak yapılan başka bir çalışma ise, hücrelerin nanoplastik PVC ile etkileştiğini ve plastik parçacıklarının immün hücrelerde sitokin salınımını indüklediğini, dolayısıyla inflamasyonun meydana geldiğini göstermiştir (Weber, 2018).

Tablo 2.7. Plastik yüzeyinde tutunan bazı kirleticiler

Organik Kirleticiler		Kullanım Alanları
POPs	Kalıcı Organik Kirleticiler	Kalıcı Organik Kirletici
Klordanlar	Organoklorin Pestisit	Böcek ilacı, İnsan Karsinojeni,
Mirex	Organoklorin Pestisit	Endokrin Bozucu, (Yasaklı madde)
HBCDs	Hekza Bromosiklo Dekanlar	Kalıcı Organik Kirletici
BPA	Bisfenol A	Kimyasal Katkı Maddesi, Endokrin Bozucu,
PCBs	Polychlorinated Biphenyls	Soğutma ve Yalıtım Sıvıları,
DDT	Dichloro Diphenyl Trichloroethane	Pestisit, Kalıcı Organik Kirletici (Yasaklı madde)

2.5. Çalışmanın Amacı

Sanayileşmenin artması ve dolayısıyla kolay elde edilebilir, ucuz ve kullanım alanı çeşitliliğinden dolayı tercih edilen malzeme olan plastik miktarının artmasına sebep olmuştur. Polimer özelliklerinden dolayı plastiklerin farklı kirleticileri muhafaza etmesi, üretiminde kullanılan bazı kimyasal maddeler ve biyofilm tabakası oluşturması sebebiyle su canlılarının yiyeceklerini taklit etme özelliklerinden dolayı canlıları olumsuz olarak etkilemektedir. Karasal ortamda kalmayıp akarsularla denizlere ve göllere kadar ulaşan plastik ve MP'lerin miktarları her geçen sene artmakta olup çevreye ve doğaya vereceği zararlar incelenerek önlem alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

Kızılırmak 1.355 KM uzunluğu ile Türkiye sınırları içerisinde ki en uzun nehir olma özelliği taşımaktadır. Bu nehir üzerinde kurulan Yamula Barajı, enerji ve sulama amaçlı Türkiye'nin önemli projelerinden birisidir.

Baraj gölü üzerinde bulunan kapakların açılma zamanları, kapakların açılma sıklıkları, bölgesel olarak alınan yağış miktarları ve Yamula Barajı'na gelene kadar nehir

yatağına deşarj edilen sanayi ve evsel atık suları miktarları yapılan çalışmada elde edilecek olan MP miktarı üzerinde olumlu ya da olumsuz etkisi olacaktır. Yapılan çalışmada elde edilen veriler ışığında Yamula Barajı'nın su ve sediment örnekleri incelenerek MP kirliliği seviyesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen veriler gelecekte uygulanması gereken olası önlemler için elimizde verilerin olasını sağlayacaktır. Bu veriler daha sonraki yıllarda yapılabilecek olan çalışmalara da katkı sağlayacaktır.



3. MATERİYAL ve YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Kızılırmak, İç Anadolu'nun doğusunda Sivas ilinin İmranlı ilçesindeki Kızıldağ'ın güney yamaçlarından yaklaşık olarak 2000 m rakımdan doğar (Eraslan, 2019). Kar ve yağmur sularının havzaya düşmesiyle beslenen düzensiz bir seviye ve debi rejimi hakimdir. Bu rejim aylara ve mevsimlere göre de düzensizlik gösterir. Akarsuyun yan kolları dahil ana kolu ile sulama alanı ve akaçlama havzasında bulunan 21 ilde 45 adet ilçenin yaşam alanı oluşturmasını sağlamıştır. Nehir üzerinde 18 adet baraj ve Hes bulunmaktadır. Bunlardan 1 tanesi olan Kayseri il Kocasinan ilçesi sınırları içerisinde bulunan Yamula baraj gölünde yüzey ve sediment örnekleri alınarak MP kirlilik seviyesi araştırılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Kızılırmak nehri ve yamula baraj göleti görüntüsü

Bu nehir üzerinde kurulan Yamula Barajı, Kayseri'nin 35 km kuzeybatısında, Yemliha kasabası yakınlarında kuruludur. 27 Aralık 2003 tarihinde su tutulmaya başlanmıştır. Barajın; gövde hacmi $1.582.000 \text{ m}^3$, akarsu yatağından yüksekliği 120,00 m, normal su kotunda göl hacmi $2025,00 \text{ hm}^3$, normal su kotunda göl alanı $85,30 \text{ km}^2$ 'dir (Bayrak 2016). Baraj 6.500 hektarlık bir alana sulama hizmeti verirken, 100 MW güç ile de yıllık 422 GWh'lik enerji üretimi yapmaktadır. Baraj elektrik üretiminin yanı sıra, tarımsal sulama ve balıkçılık faaliyetleri amaçlı da kullanılmaktadır. Kocasinan ilçesinde yer alan baraj gölünde, belediyenin de desteğiyle başta yelken ve kürek olmak üzere birçok su

sporları etkinliği ile içerisinde ferdi sporlar ve doğa sporları düzenlemesi yapılan tatil köyü bulunmaktadır. evresinde mesire ve piknik alanları bulunmaktadır.

MP kirlilik seviyesinin belirlenmesi için yamula baraj gölünde su toplama havzasının giriş ve çıkışlarını kapsayacak şekilde 5 farklı noktadan alınan yüzey ve sediment örnekleri alınmıştır (şekil 3.2)



şekil 3.2. Yamula Barajı zerindeki örnekleme noktaları

3.2. Metot Aşamaları

3.2.1. Örneklerin Toplanması

Uygun evre şartlarını gözeterek Yamula Barajı üzerinde daha önceden belirlenen 5 farklı istasyondan manta kepçesi yardımıyla yüzey örnekleri alınmıştır. Ayrıca sıcaklık, pH, TDS, iletkenlik, değerleri ölçümleri her istasyonda yüzey ve 1 m derinlikte ölçülmüştür (HANNA HI98194/20, Multiprob). Maksimum derinlik ve Secchi disk derinlik ölçümleri her istasyonda gerçekleştirilmiştir. Kullanılan manta kepçesi gözenek açıklığı 300 mikrondur. Manta kepçesine giren su miktarının hesaplanması için, su girişinin gerçekleştiği kısmı lklendirilerek manta kepçesinin en kısmının yarısı su içerisinde olduğu kabul edildi ve 10 dakika boyunca yaklaşık 2 knot hızında giden tekneden çekilerek manta kepçesinin içerisine giren su miktarı hesaplanmıştır. Giren su debisinin filtreler üzerinde baskı oluşturmasını engellemek için uygun hızda ilerleme sağlanmıştır (şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yüzeyde bulunan MP örneklerinin toplanması için kullanılan manta kepçesi cihazı

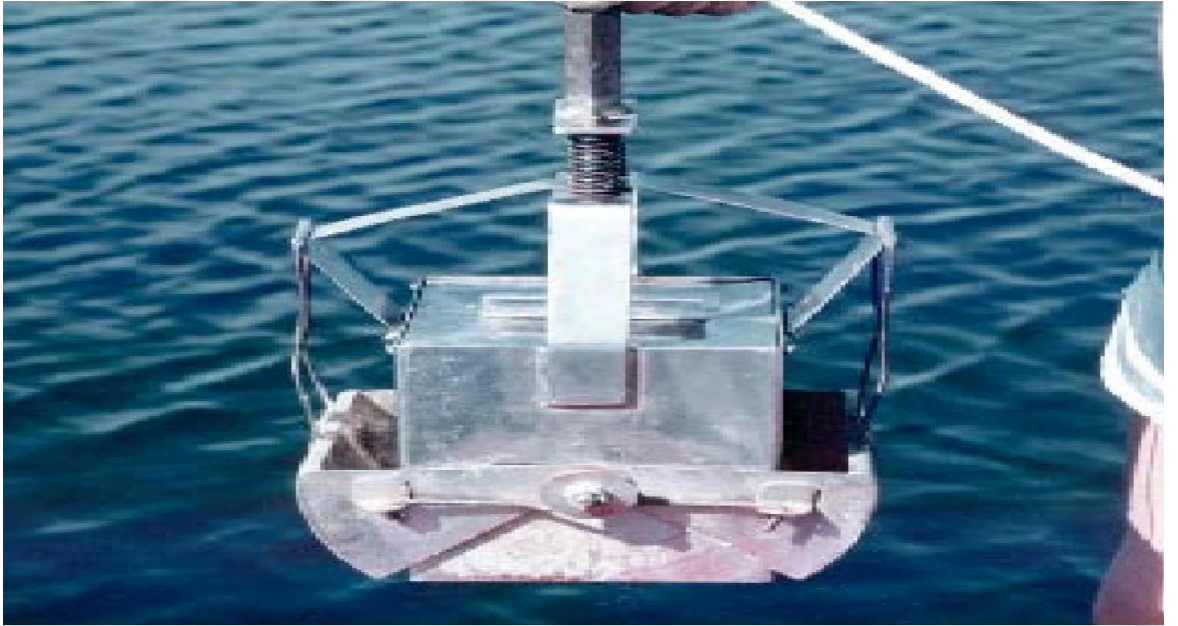
Manta kepçesi içerisine giren yüzeyde bulunan organik madde ve MP parçalarının cihazın son kısmında toplandıktan sonra rahat şekilde numune kaplarına alınmasını sağlamak için 10 cm çapında sökülebilen bir kısım ilave edilmiştir (Şekil 3.4).

Bazı sucul organizmalar bünyelerinde daha önceden besin materyali farz edilerek tüketilen MP parçaları barındırırlar. Gerek bu canlıların MP parçaları vücutlarındayken ölmeleri gerekse MP parçaları üzerlerinde oluşan biyofilm tabakaları neticesinde artan ağırlıklarından dolayı su kolonunun dip kısmına çökmelerinden kaynaklı sediment örneklerinde MP parçalarına rastlamak mümkündür. Bu MP parçalarının tespit edilmesi için sedimentten örnekler alınması gerekmektedir. Bu çalışmada sediment örnekleme yapmak için ekman kepçesi kullanılmıştır. Ekman kepçesi, mekanizması su dışında kurularak ağız kısmı yay aracılığı ile gerili olan cihaza dip kısma indiği tespit edildikten sonra kepçeye bağlı ipe kilitli ağırlığın yukarıdan gönderilmesiyle çalışır (Şekil 3.5). Ekman kepçesi sediment üzerindeyken gelen ağırlıkla ağız kısmının kapanması içerisine sediment örneğinin dolmasını sağlar. Bu şekilde alınan örnek daha önceden numaralandırılmış kaplara transfer edilmiştir. Hem manta kepçesi hem de ekman kepçesi vasıtası ile alınan örnekleme aşamaları belirlenen istasyonların hepsinde uygulanmıştır. Sadece S5 istasyonundan bitki yoğunluğu

nedeni ile sediment örneği alınamamıştır. Alınan numunelerin hepsi kayıtlı ve kontrollü bir şekilde analiz edilecekleri laboratuvarlara gütürölmek üzere kapalı bir kaptı taşınmıştır.



şekil 3.4. Manta kepeşesinin uç kısmından bulunan, toplanan örneklere rahat şekilde numune kaplarına alınmasını sağlaması için sökülebilen kısmı



şekil 3.5. Sediment örneklere alınmasında kullanılan ekman kepeşesi

3.2.2. Kurutma İşlemi

Laboratuvara getirilen manta kepeşesi örneklere ve sediment örneklere kurutulmaları için içerisindeki MP partiküllere zarar vermeyecek sıcaklıkta su tamamen buharlaşana değin 24 saat süreyle, gerekirse daha uzun süre beher içerisinde su kalmayana kadar kurutulmuştır. Kurutma işlemi sırasında cihaz içerisinde hava yoğunluğu artacağı için etüvün havalandırma çıkışı açık konuma getirilmiştir (şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kurutma işlemlerinde kullanılan etüv

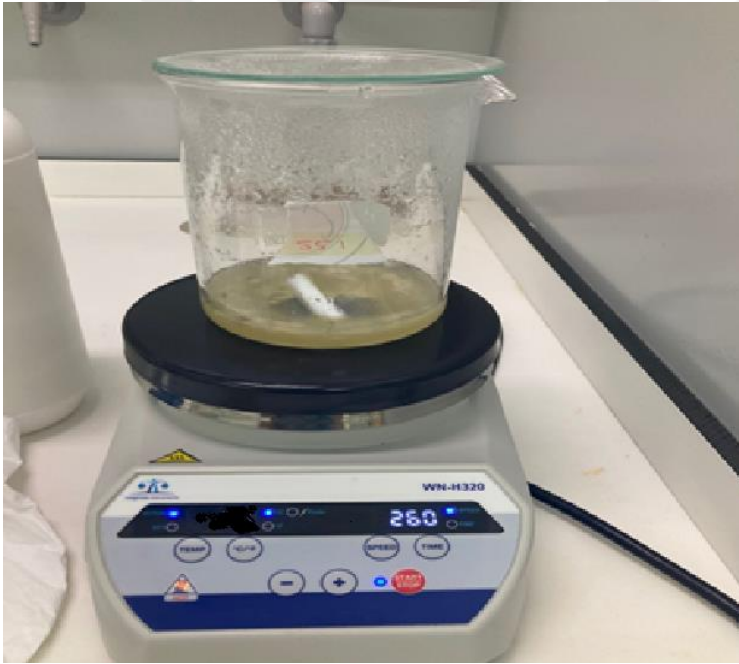
Sediment örnekleri kurutulduktan sonra homojen olarak karıştırılmıştır. İçerisinden alınan 20 g örnek 500 ml doymuş tuzlu su çözeltisi ilave edilerek homojen bir hale gelene kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. İçerisinde bulunan MP partiküllerinin yoğunluk farkından dolayı su yüzeyine çıkması beklenir. Karışım cam baget ile 2 dk karıştırılarak 30 dk beklenmiştir. Bu süreç 3 defa tekrarlanmıştır. Daha sonra çökelme işlemi için 24 saat beklenmiştir (Şekil 3.7). Su yüzeyine çıkan organik madde ile karışık durumda olan MP parçaları cam çeperinde ve yüzey suyu vakumlanarak dibe çöken kısımdan ayrıştırılmıştır. Filtre üzerinde kalan partiküller cam beherlere transfer edilerek sıvı peroksit uygulaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Sediment örneklerinin 24 saat çökme sonrası görünümü.

3.2.3. Peroksit Uygulaması (WPO)

WPO, "Sıvı Peroksit Oksidasyonu" (sulu organik kirliliğin hidrojen peroksit prosesi ile oksidasyonu) olarak da isimlendirilebilir. Yüzeyden alınan ve sediment'ten elde edilen örnekler tamamen kurutulduktan sonra 20 ml 0.05 M Fe (II) ve 20 ml %30'luk H_2O_2 ilave edilerek sıcaklığı $42^{\circ}C$ ye ayarlanmış ısıtıcı tabla üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 3.8). Burada uygulanan sıcaklık reaksiyon hızını arttıracak için oksidasyon için harcanan zamanı kısıltacaktır. Sıcaklığın etkisiyle oluşan oksidasyonda köpürme işlemi artacağı için işlem sırasında cihazın başından ayrılmadan köpürdüğü sırada ısıtıcı plaka üzerinden alınıp köpürme geçene kadar beklenmiştir. Beherden taşacağından şüphelenilen numunelere distile su eklenerek müdahale edilmiştir. Ortamda bulunan organik materyal fazla ise uygulanan hidrojen peroksit doymuş hale geleceğinden oksidasyon durur. Süreci devam ettirebilmek için hidrojen peroksit uygulamasına organik materyal kalmayana dek devam edilmiştir.



Şekil 3.8. Hidrojen peroksit uygulaması

3.2.4. Yoğunluk Ayrımı

Oksidasyon işleminin durmasının ardından içerisinde MP partikülleri olan yüzey ve sediment örnekleri bulunan beher kapları çeker ocaktan çıkartılmıştır. Ortamda organik madde tükendiğinde örneğin her 20 ml'si için 6 gr NaCl beher içine ilave edilerek çözünmesi sağlanmıştır. Sonrasında, beher içerisindeki MP içeren karışım ayrıştırma hunilerine aktarılmıştır. Yoğunluk farkından dolayı plastik parçaların haricinde diğer maddelerin

ökmesi için 24 saat beklenmiştir. Ayırma hunisi kullanımındaki amaç sıvı yüzeyinde toplanan MP parçalarının çöken kısım ile karışmasını engellemek için huninin alt kısmında bulunan vana yardımıyla ayrıştırma işlemine dayanmaktadır. Çöken kısım ayrıştırıldıktan sonra balon içerisinde kalan sıvı filtre edilmek üzere hazır hale gelmiştir (Şekil 3.9).

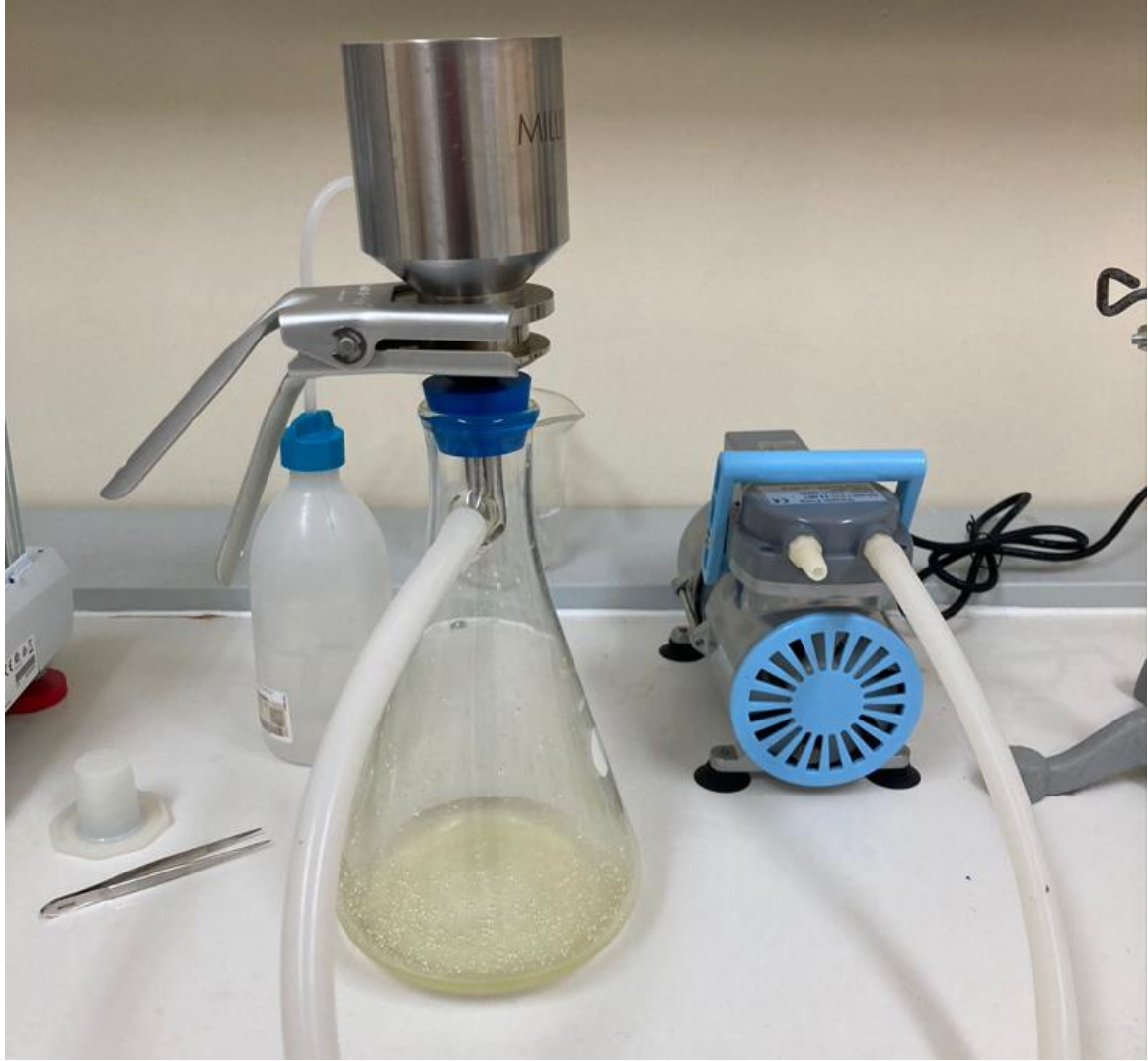


Şekil 3.9. Yoğunluk ayırımında kullanılan armudi ayırma balonları

3.2.5. Vakum Pompası ile Ayırma

Yoğunluk ayırma işlemlerinden sonra geriye kalan, içerisinde MP parçaları olan sıvı kısım filtre edilmek üzere hazırlanmıştır. Yalnızca sıvı kısmın geçeceği gözenek sistemine sahip filtre ortamı kullanılarak işleme hazır vakum makinası yardımıyla sıvı kısım filtre edilmiştir (Şekil 3.10). Filtre işlemi bittikten sonra vakum aleti üzerine yerleştirilen filtre pens yardımıyla alınarak önceden numaralandırılmış cam petriler içerisine yerleştirilmiştir. Ortamdan filtre üzerine havada bulunabilecek çok küçük boyutlarda MP parçacıkların girişini engellemek için kurutma dolabına koymadan önce alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Folyo üzerine buharlaşma hızını arttıracak şekilde küçük havalandırma delikleri açılarak buharlaşma hızı arttırılmıştır. Buharlaşma tamamen bittiği zaman gerek

yüzeyden gerekse sedimentten alınan örnekler içerisinde bulunan MP parçalar ve türevlerini çapı yaklaşık olarak 5 cm olan filtre üzerinde toplamış haldedir. Tüm bu çalışmalar yapılırken önceden mikroskopta incelenmiş boş bir filtre kontrol olarak çalışma sürecinin her aşamasında ortamda bekletilmiştir. Her işlemten sonra filtre kontrol edilerek çalışma ortamından kaynaklı bir kontaminasyon olup olmadığı filtre incelenerek tespit edilmiştir.



Şekil 3.10. Filtrasyon sistemi

3.2.6. Mikroskop Analizi

Filtrasyon yöntemiyle sıvı kısımdan ayrılan MP partiküllerinin üzerinde bulunduğu filtreler numaralandırılmış petri kaplarından çıkarılmadan incelenmek üzere stereo mikroskop alanına konulmuştur. Mikroskop ortamında renk ve şekil olarak organik maddelere benzer yönde olduğu şüpheli fragment ya da fiber parçaları üzerine ısıtılmış ince iğne değdirilerek kayıt altına alınmadan önce ilk incelemesi yapılmıştır. Burada

yöntemler sonucu elde edilen MP'lerin sayısı, boyutları, şekilleri, renkleri ve türevleri hakkında bilgi sahibi olmak için gerekli incelemeler yapılarak kayıt altına alınmıştır.

3.2.7. Mikroplastik Raman Analizi

Rastgele seçilen mikroplastik partikülleri μ -Raman (Renishaw) kullanılarak analiz edilmiştir. Örnekler $4000 - 100 \text{ cm}^{-1}$ spektrum aralığında incelenmiştir. Raman cihazına bağlı olan mikroskop ile örnekler 50X büyütme altında incelenmiştir. Lazer güç aralığı olarak 30 – 300 mW arasında değerler kullanılarak spektrumlar elde edilmiştir. Partiküllerden elde edilen spektrumlar polimer kütüphanelerindeki referans spektrumlar ile eşleştirilerek, partikül türlerinin hangi polimer türevlerine ait oldukları tespit edilmiştir.

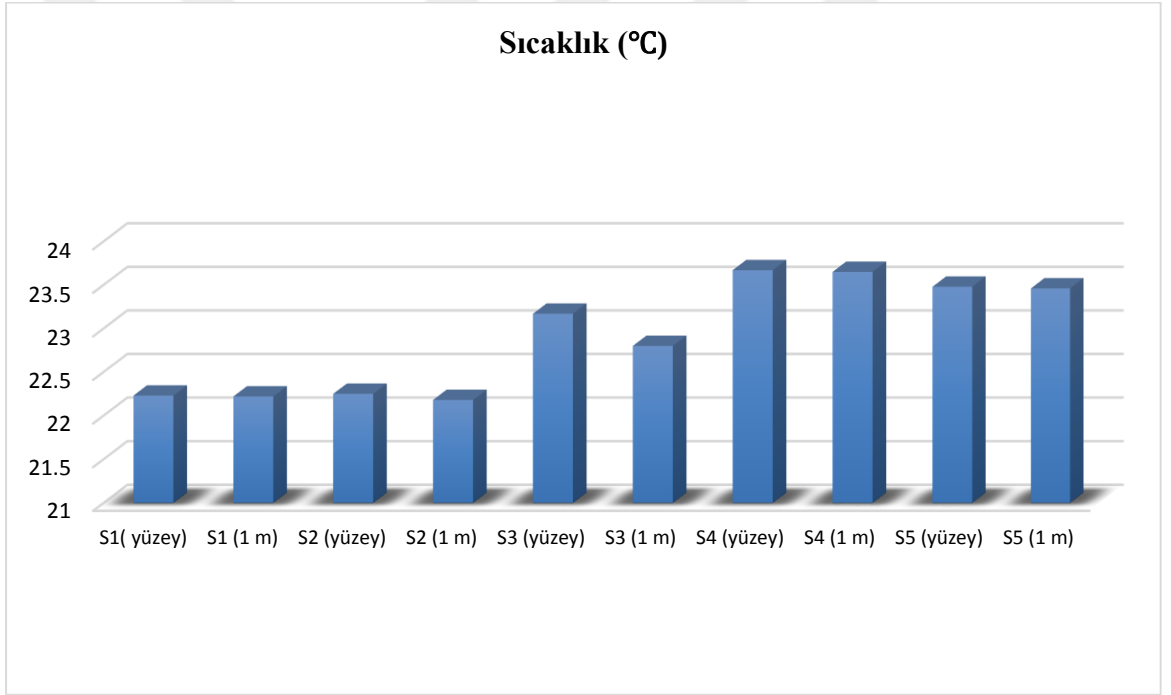


4. BULGULAR

4.1. Çevresel Parametreler

4.1.1. Sıcaklık

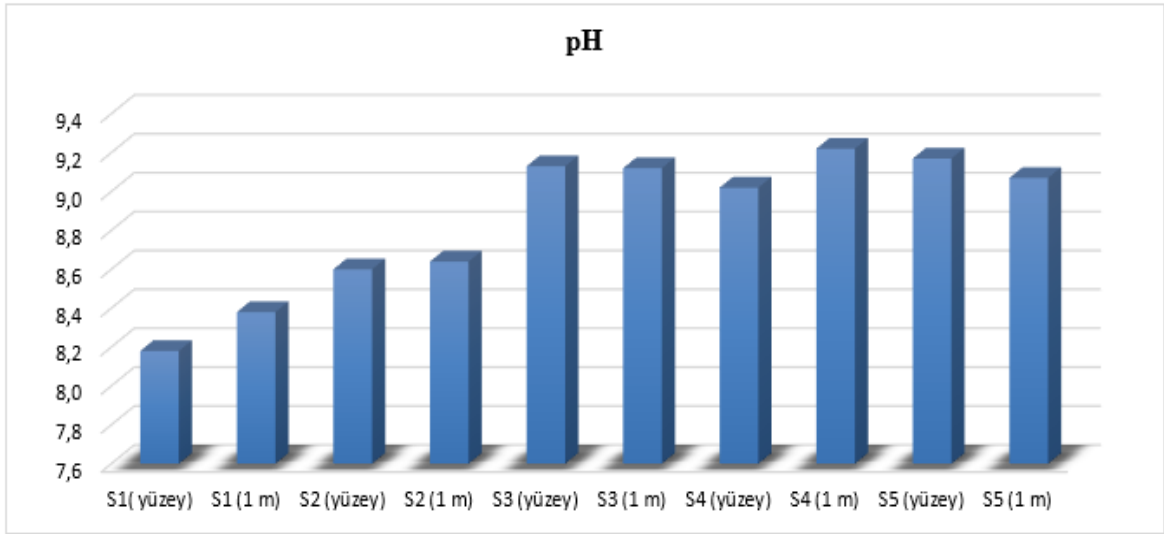
İstasyonlarda ölçülen sıcaklık verileri yüzeyde en yüksek S4 istasyonunda 23,7 °C olarak belirlenmiştir. S1, S2, S3 ve S5 istasyonlarında belirlenen sıcaklık değerleri ise sıralı halde 22,2 °C; 22,3 °C; 23,2 °C ve 23,5 °C olarak belirlenmiştir. Su seviyesinden 1 m derinlikte ölçülen sıcaklık değerleri ile genel olarak yüzey sıcaklık değerleri arasında bariz farklılık gözlemlenmemiştir. Sıcaklık değerleri S1 (22,2 °C), S2 (22,2 °C), S3 (22,8 °C), S4 (23,7) ve S5 (23,5 °C) olarak ölçülmüştür (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Su yüzeyi ve 1m derinlik için her istasyon için belirlenmiş olan sıcaklık değerleri

4.1.2. pH

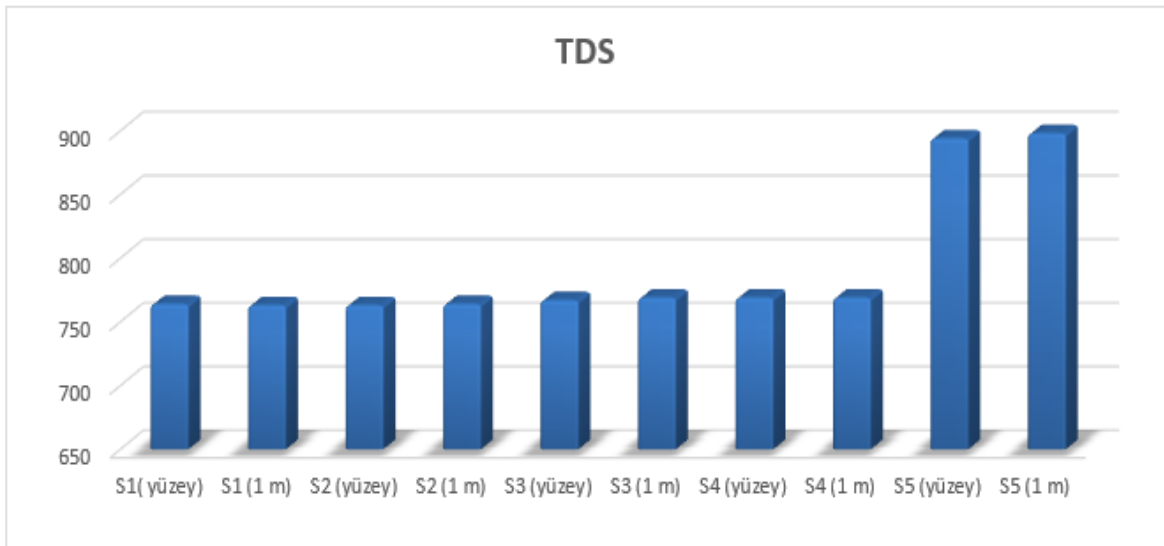
Yüzey ve 1m derinliklerden elde edilen ölçüm sonuçlarına göre ortalama pH değeri Yamula barajı için 8,9 olarak tespit edilmiştir. En düşük pH değeri S1 istasyonu yüzey ölçümünde 8,2 olarak belirlenirken en yüksek pH değeri 9,2 olarak S4 yüzey ve 1m örneklerinde belirlenmiştir (Şekil 1.2). Yüzey ölçümlerinde belirlenmiş olan pH değerleri S2, S3 ve S5 istasyonları için sırası ile 8,6; 9,1; 9,2 olarak belirlenirken S1, S2, S3 ve S5 istasyonların 1m derinlikte ölçülen pH değerleri sırası ile 8,4; 8,6; 9,1; 9,1 olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Su yüzeyi ve 1m derinlik için her istasyon için belirlenmiş olan pH değerleri

4.1.3. Toplam Çözülmüş Katı Madde (TDS)

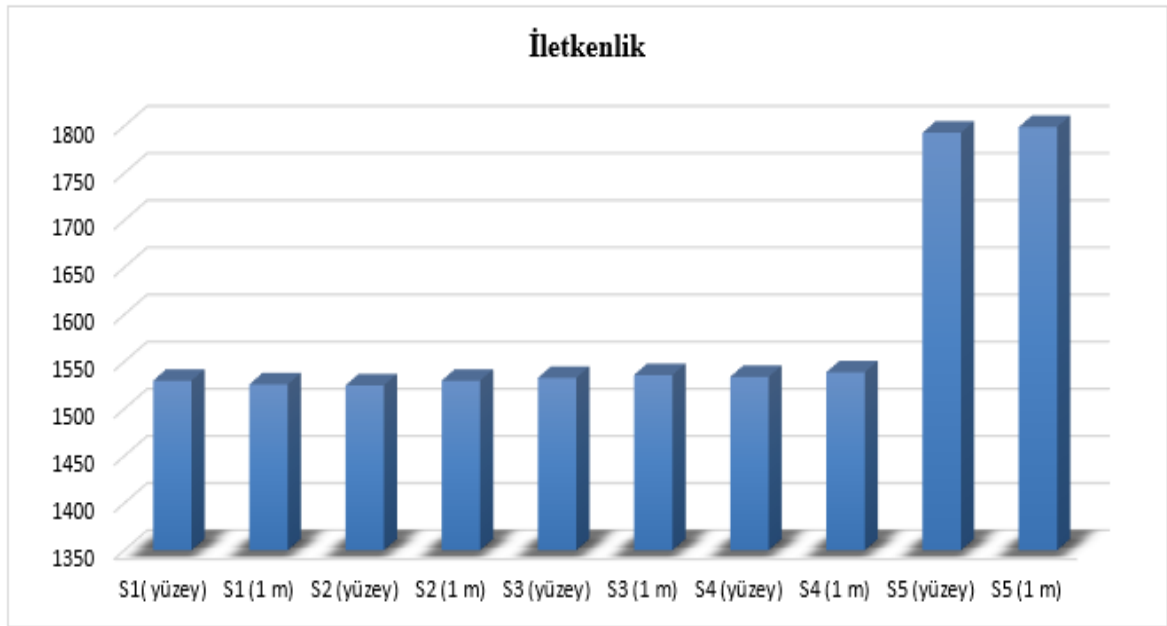
Yüzey ölçümlerinde S1, S2, S3, S4 ve S5 istasyonlarında belirlenen TSD değerleri sırası ile 764, 763, 767, 769 ve 894 olarak belirlenirken, aynı istasyonlar için 1m derinlikte belirlenmiş olan TDS değerleri 763, 764, 769, 769 ve 898 olmuştur (Şekil 1.1.3). Hem yüzey hem 1 m derinlik için ölçülen en yüksek TDS değerleri S5 istasyonunda tespit edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Su yüzeyi ve 1m derinlik için her istasyon için belirlenmiş olan TDS değerleri

4.1.4. İletkenlik

TDS verilerine benzer şekilde en yüksek iletkenlik değeri S5 istasyonu yüzey (1793 $\mu\text{S/cm}$) ve 1 m derinlik (1793 $\mu\text{S/cm}$) örneklemelerinde tespit edilmiştir (Şekil 1.1.4). S1, S2, S3 ve S4 istasyonları yüzey örneklemelerinde elde edilen iletkenlik değerleri 1530 $\mu\text{S/cm}$, 1525 $\mu\text{S/cm}$, 1533 $\mu\text{S/cm}$ ve 1534 $\mu\text{S/cm}$ 'dir. Aynı istasyonlarda 1m derinlikte belirlenen iletkenlik verileri ise 1526 $\mu\text{S/cm}$, 1530 $\mu\text{S/cm}$, 1536 $\mu\text{S/cm}$, 1539 $\mu\text{S/cm}$ 'dir (Şekil 4.4).

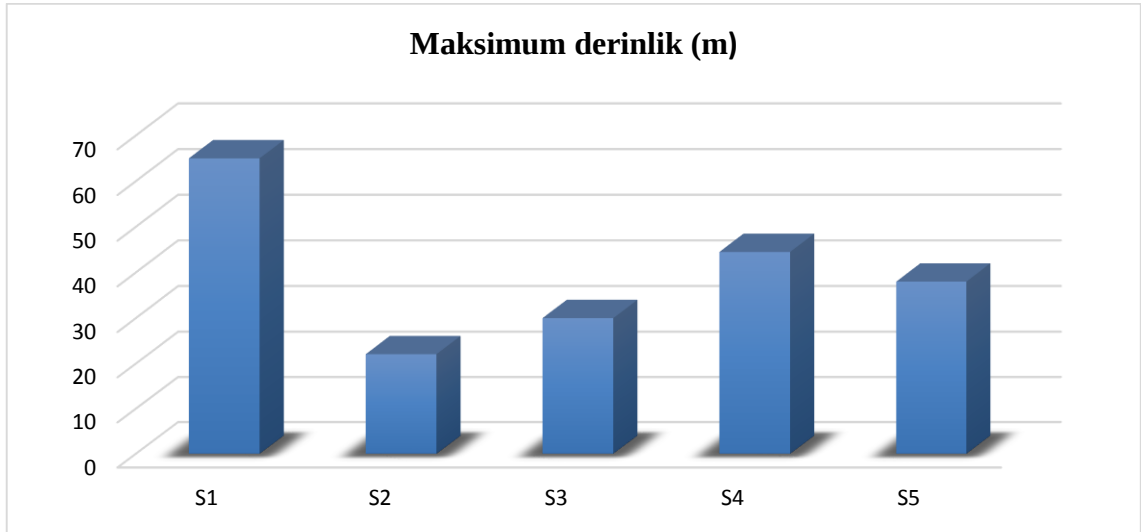


Şekil 4.4. Su yüzeyi ve 1m derinlik için her istasyon için belirlenmiş olan iletkenlik değerleri

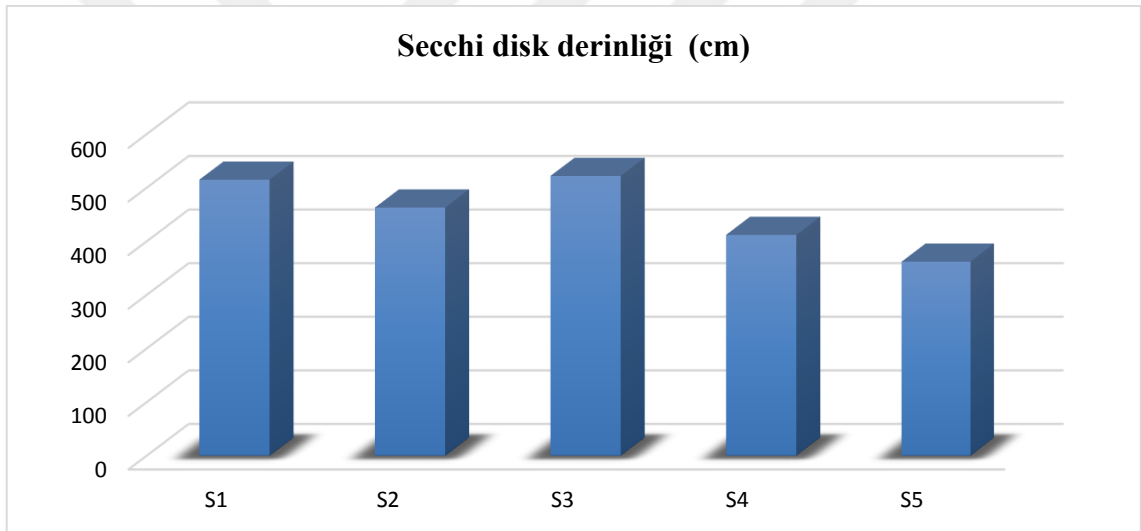
4.1.5. Secchi Disk ve Maksimum Derinlik

En yüksek derinlik değeri S1 istasyonunda 65 m olarak belirlenirken, en düşük derinlik değeri ise S2 istasyonunda 22,1 m olarak ölçülmüştür. S3, S4 ve S5 istasyonlarında belirlenen maksimum derinlik değerleri ise sırası ile 30 m, 44,5 m ve 38 m'dir (Şekil 4.5).

Secchi disk ölçümlerine göre ise ışık geçirgenliği en yüksek olan istasyon S3 (522 cm) olurken, en düşük ışık geçirgenlik değeri S5 istasyonunda 362 cm olarak belirlenmiştir. S1, S2 ve S4 istasyonu Secchi disk derinlikleri ise 515 cm, 463 cm, ve 412 cm olmuştur (Şekil 4.6).



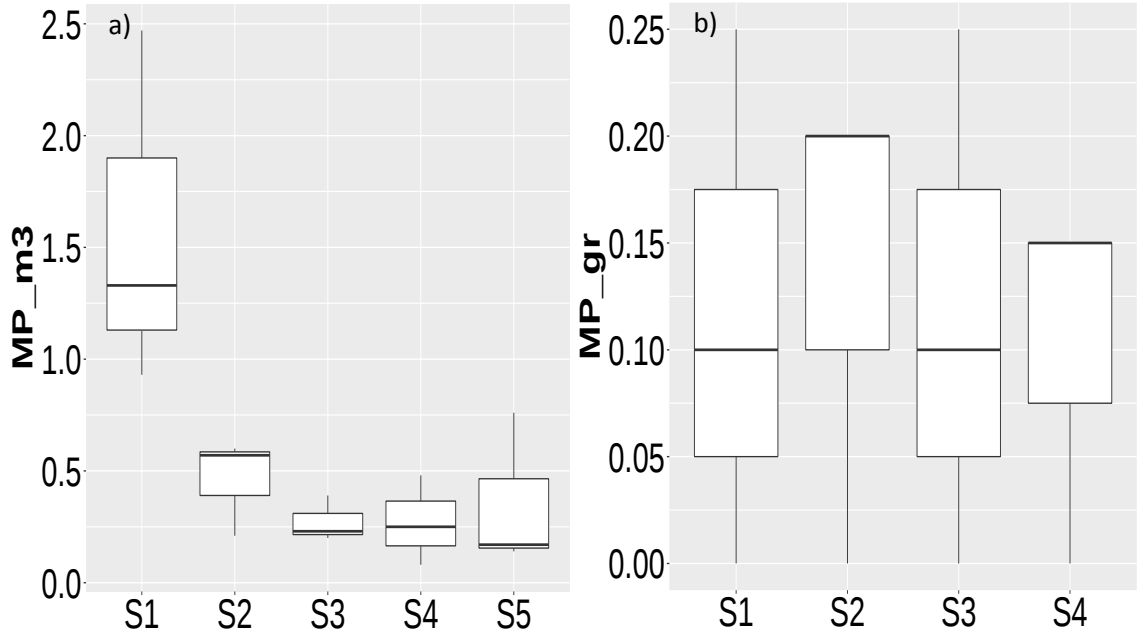
Şekil 4.5. Örneklem istasyonlarında belirlenen maksimum derinlik değerleri



Şekil 4.6. Örneklem istasyonlarında belirlenen Secchi disk derinlik değerleri

4.2. Mikroplastik Örneklem Sonuçları

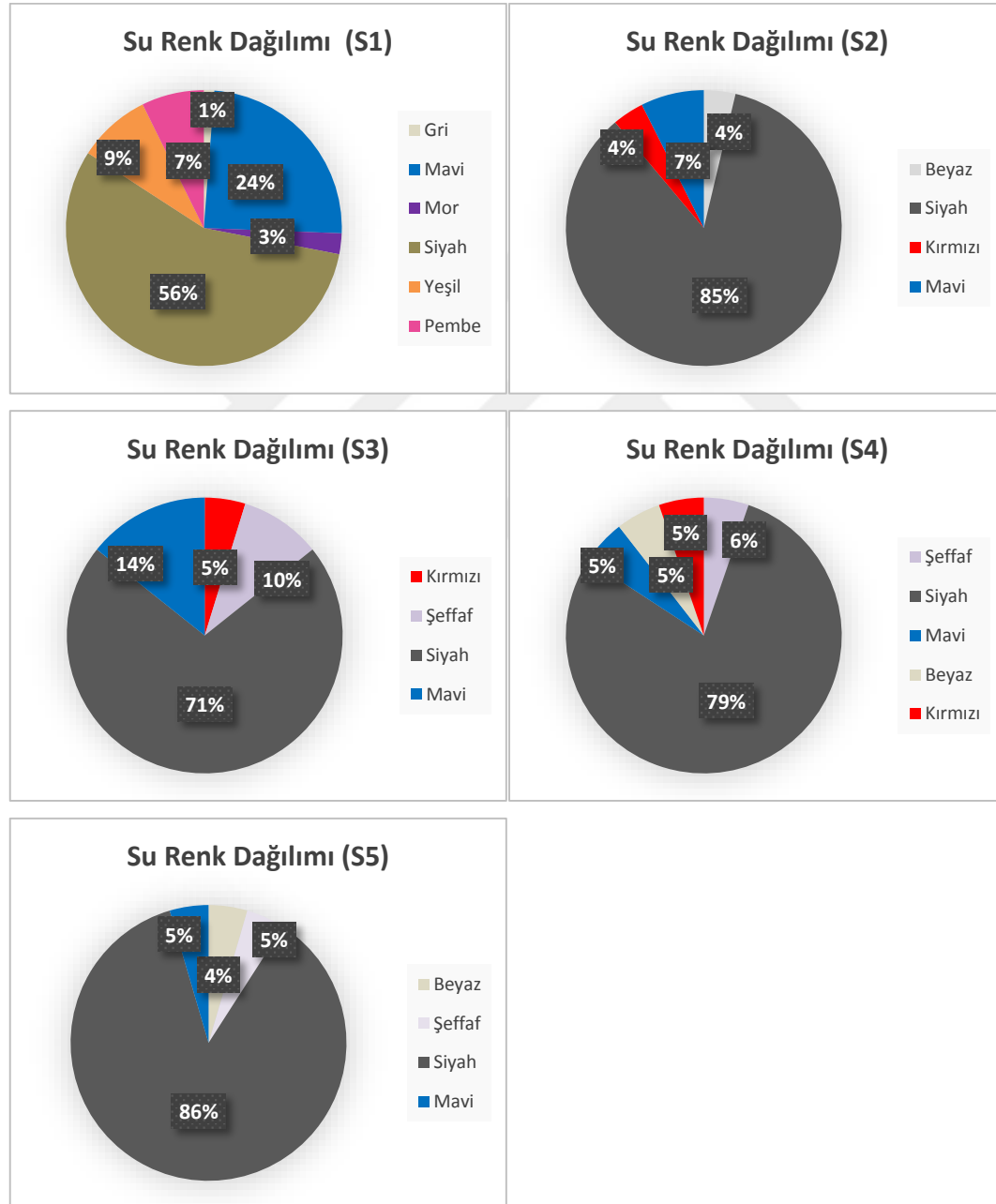
Su örneklemeleri hesaplama sonuçlarına göre metre küpte bulunan en yüksek MP sayısı S1 ($1,57 \text{ MP/m}^3$) olarak belirlenmiştir. S1 istasyonunu yoğunluk bakımından sırası ile S2 ($0,46 \text{ MP/m}^3$), S5 ($0,35 \text{ MP/m}^3$), S3 ($0,27 \text{ MP/m}^3$) ve S4 ($0,27 \text{ MP/m}^3$) istasyonları takip etmiştir (Şekil 4.7.a). İstasyonlar arasında MP dağılımı açısından istatistiksel olarak farklılık gözlemlenmemiştir ($p < 0.05$). Sediment örneklemede 1 gr sediment içerisinde bulunan ortalama MP sayıları en yüksekten en düşüğe sırası ile S2 ($0,13 \text{ MP/g}$), S1 ve S3 ($0,12 \text{ MP/g}$), S4 ($0,1 \text{ MP/g}$) olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.7.b). İstasyonlar arasında MP dağılımı açısından istatistiksel olarak farklılık gözlemlenmemiştir ($p < 0.05$).



Şekil 4.7. a) Su örneklerinde istasyonlarda belirlenen ortalama MP miktarı (m^3), b) Sediment örneklerinde istasyonlarda belirlenen ortalama MP miktarı (gr)

4.2.1. Su Örnekleri Mikroplastik Renk Dağılımı

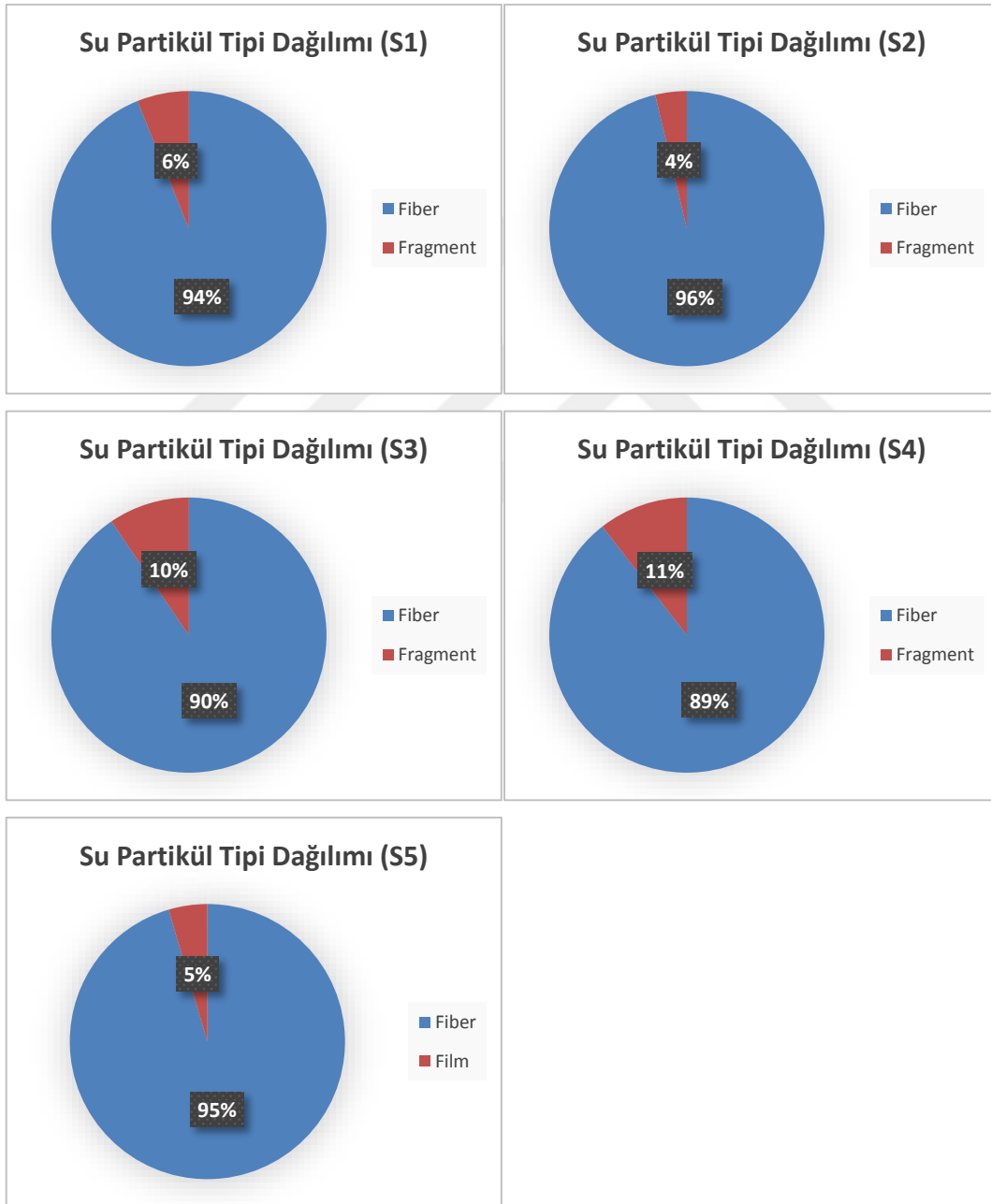
Tüm istasyonlarda gözlemlenen renk dağılımı incelendiğinde en yoğun olarak gözlemlenen renk siyah olmuştur (Şekil 4.8). Renk çeşitliliğinin en fazla gözlemlendiği istasyon ise S1 istasyonudur, bu istasyonda 6 farklı renkte mikroplastik gözlemlenirken, S4 istasyonunda 5, S2, S3 ve S5 istasyonlarında ise 4 farklı renk tespit edilmiştir. İstasyonlar arasında renk dağılımı açısından istatistiksel olarak farklılık gözlemlenmemiştir ($p<0.05$).



Şekil 4.8. Su örneklerinde tespit edilen MP partiküllerinin renk yüzde dağılım değerleri

4.2.2. Su Örnekleri Mikroplastik Tip Dağılımı

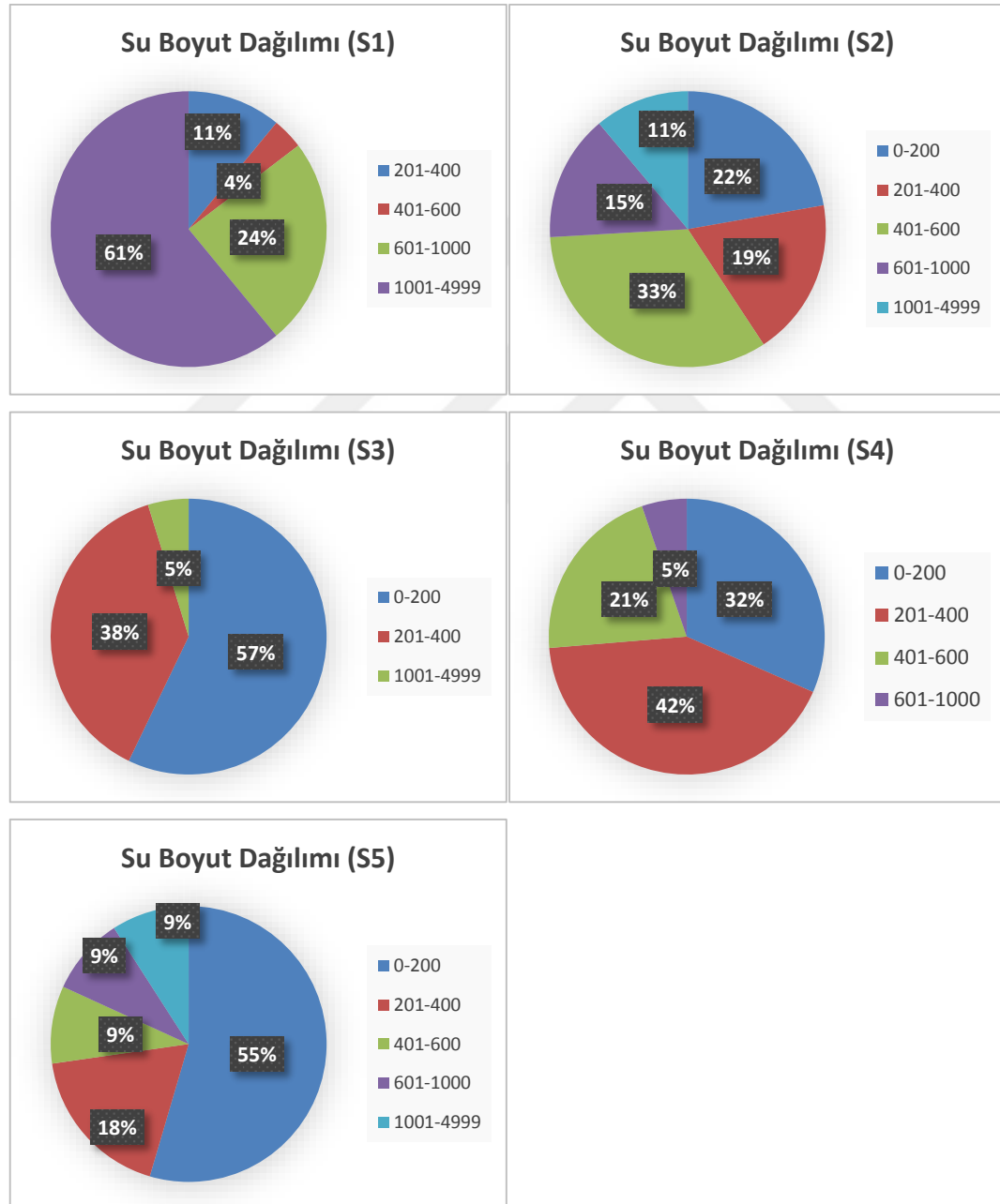
Su örneklerinden mikroplastik tip dağılım sonuçları incelendiğinde tüm istasyonlarda gözlemlenmiş olan mikroplastik tipleri fiber ve fragment olmuştur. Fiber tipi tüm istasyonlarda fragmente oranla daha yüksek oranda temsil edilmiştir. S1, S2 ve S5 istasyonlarında %94, %96 ve % 95 oranlarında fiber gözlemlenirken, S3 ve S4 istasyonlarında % 90 ve %89 oranında fiber partikül gözlenmiştir (Şekil 4.9). İstasyonlar arasındaki tip dağılımı istatistiksel olarak fark göstermemiştir ($p<0.05$).



Şekil 4.9. Su örneklerinde tespit edilen MP partiküllerinin tip yüzde dağılım değerleri

4.2.3. Su Örnekleri Mikroplastik Boyut Dağılımı

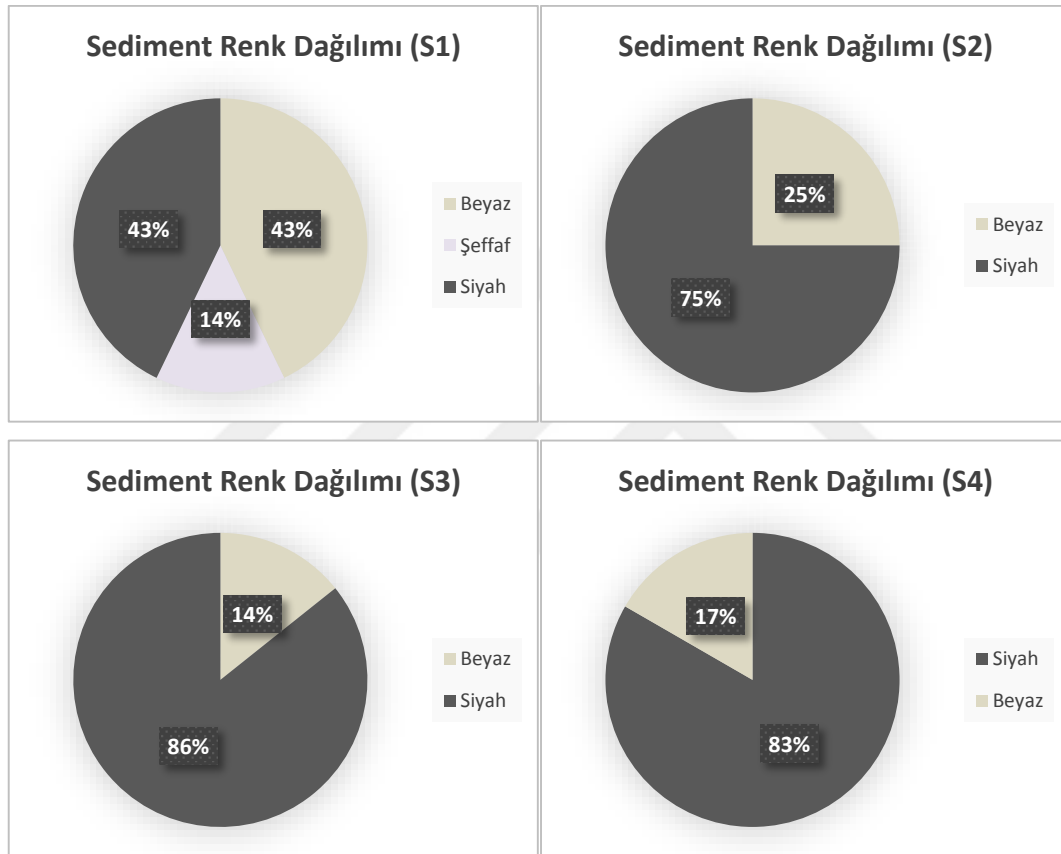
Belirlenen 5 farklı boyut aralık dağılımında istasyonlar arasında genel bir benzerlik gözlemlenmemiştir. S1, S3 ve S4 istasyonlarında en fazla mikroplastik gözlemlenen boyut aralığı 1001 – 4999 mm olurken, S2 istasyonunda 401 – 600 mm olmuştur. S4 istasyonunda ise en yoğun gözlemlenen boyut aralığı 201 – 400 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.10). İstasyonlar arasındaki boyut dağılımı istatistiksel olarak farklı bulunmamıştır ($p < 0.05$).



Şekil 4.10. Su örneklerinde tespit edilen MP partiküllerinin boyut yüzde dağılım değerleri

4.2.4. Sediment Örnekleri Mikroplastik Renk Dağılımı

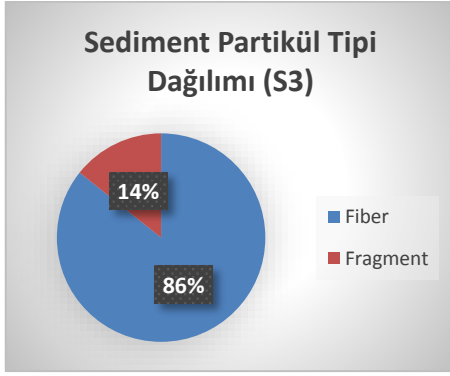
Sediment örneklerinde gözlemlenen renk çeşitliliği su örneklerinde gözlemlenen çeşitlilikten daha az olmuştur. Genel olarak en baskın renk siyah ve beyaz renkler olarak tespit edilmiştir. Siyah renk S1 istasyonunda % 43 oranında bulunurken S2, S3 ve S4 istasyonlarında % 75, % 86 ve % 83 oranlarında tespit edilmiştir (Şekil 4.11). Sediment örneklerinde renk dağılımı istasyonlar arasında istatistiksel olarak farklı dağılım göstermemiştir ($p < 0.05$).



Şekil 4.11. Sediment örneklerinde tespit edilen MP partiküllerinin renk yüzde dağılım değerleri

4.2.5. Sediment Örnekleri Mikroplastik Tip Dağılımı

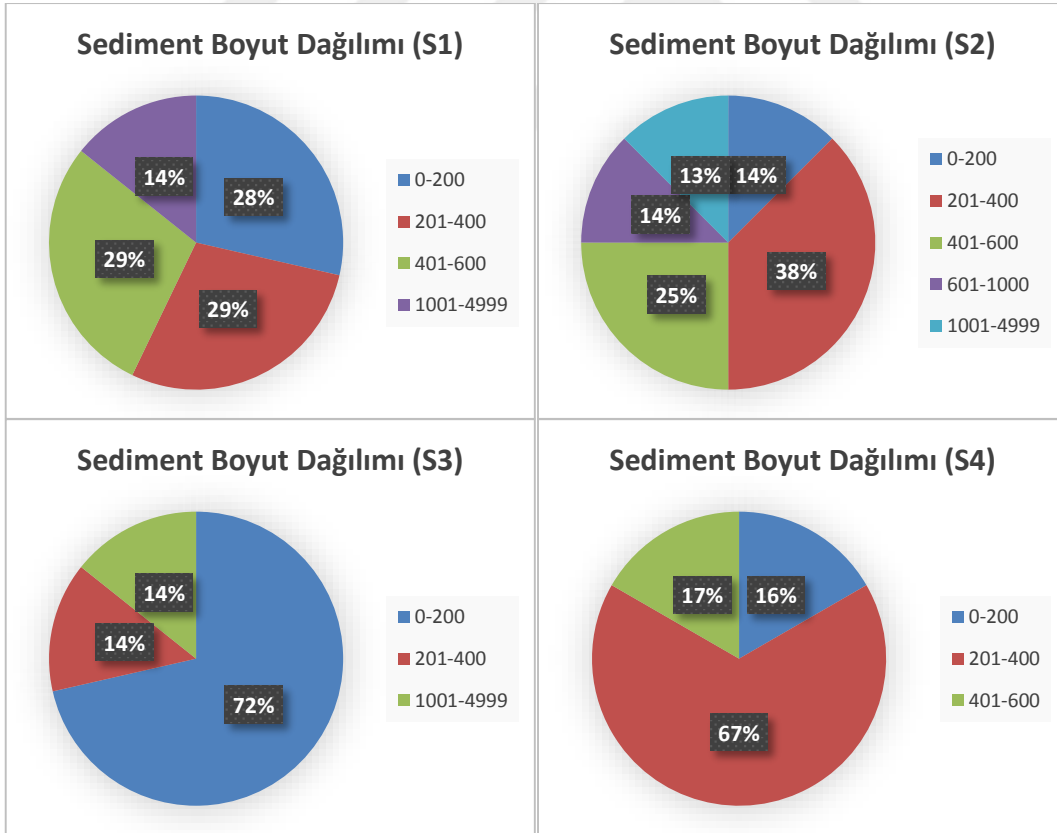
Sediment örneklerinde mikroplastik tip dağılımı S1, S2 ve S4 istasyonlarında %100 oranında fiber olarak belirlenmiştir. S3 istasyonunda fiber oranı %86 olurken, fiber yüzdesi %14 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.12). İstasyonlar arasındaki tip dağılımı istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir ($p < 0.05$).



Şekil 4.12. Sediment örneklerinde tespit edilen MP partiküllerinin S1 istasyonunda tip yüzde dağılım değerleri

4.2.6. Sediment Örnekleri Mikroplastik Boyut Dağılımı

Sediment örneklerinde boyut aralıkları dağılımlarında en fazla çeşitlilik S2 istasyonunda gözlemlenmiştir. S2 istasyonunda en fazla gözlemlenen boyut aralığı 201 - 400 mm olmuştur.

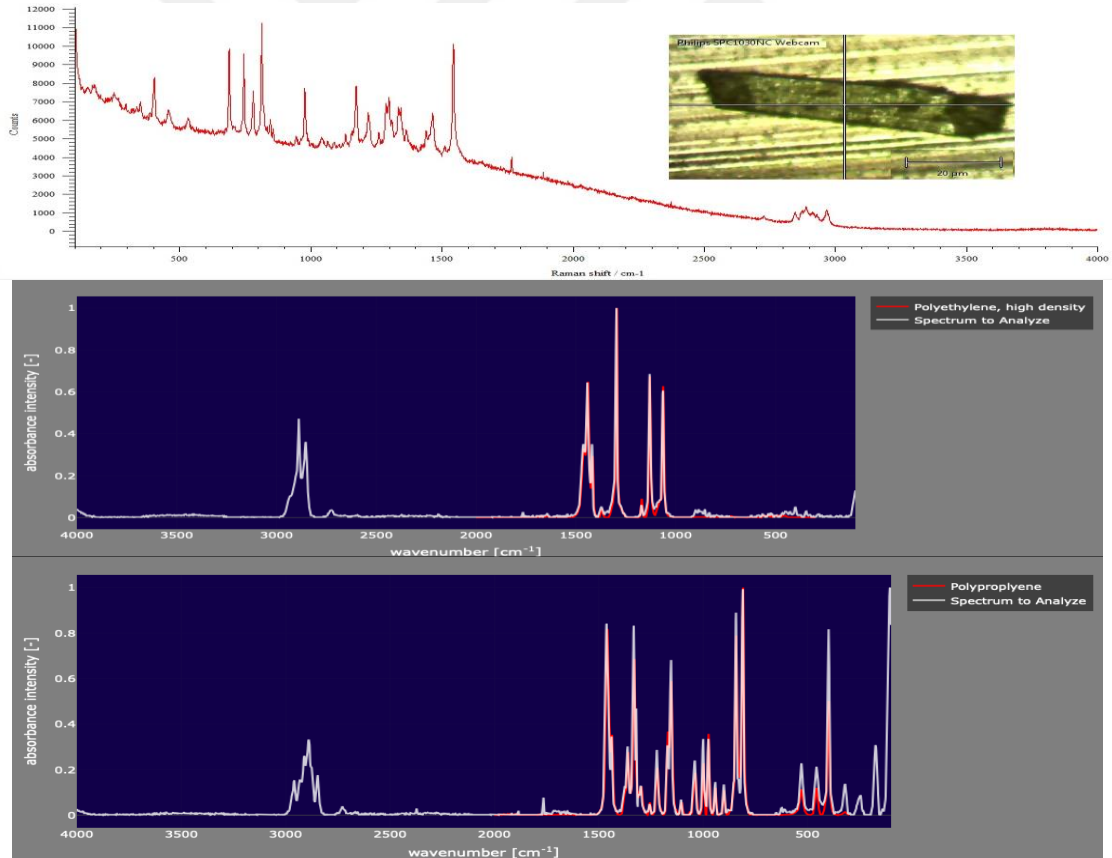


Şekil 4.13. Sediment örneklerinde tespit edilen mikroplastik partiküllerinin istasyonlarda boyut yüzde dağılım değerleri

Boyut çeşitliliğinin en fazla olduğu ikinci istasyon ise S1 istasyonudur ve 401 – 600 mm ve 201 – 400 mm aralıkları olmuştur ve % 29 yüzde ile temsil edilmişlerdir. S3 istasyonunda en fazla gözlemlenen boyut aralığı 0 – 200 mm aralığı olurken, S4 istasyonunda en fazla gözlemlenen boyut aralığı 201 – 400 mm olmuştur (Şekil 4.13). İstasyonlar arasındaki boyut dağılımı istatistiksel olarak farklılık göstermemiştir ($p < 0.05$).

4.3. Mikroplastik Raman Analizi

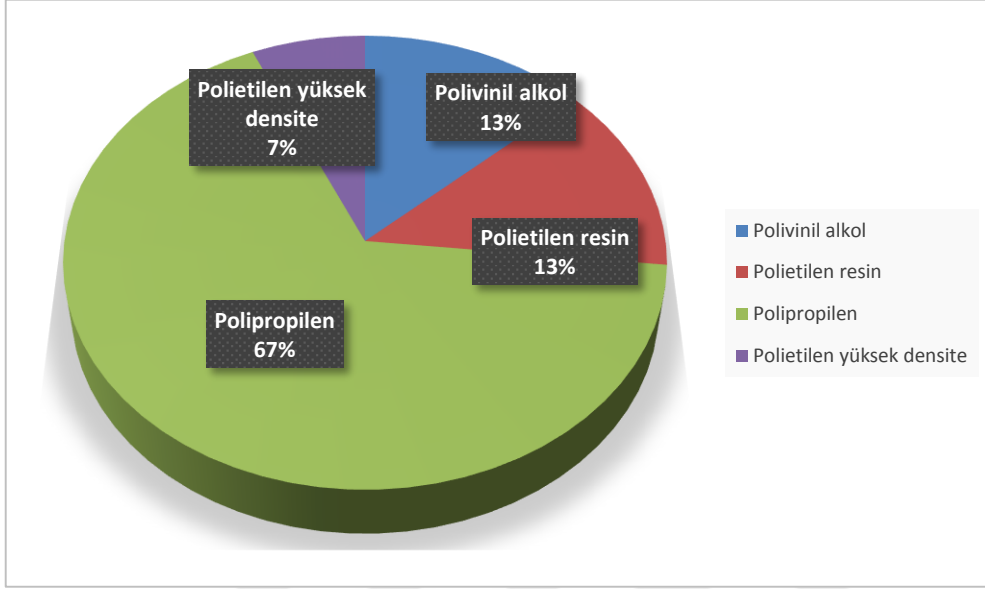
Rastgele seçilen mikroplastik partikülleri μ -Raman (Renishaw) kullanılarak analiz edilmiştir. Örnekler 4000 – 100 cm^{-1} spektrum aralığında incelenmiştir. Raman cihazına bağlı olan mikroskop ile örnekler 50X büyütme altında incelenmiştir. Lazer gücü aralığı olarak 30 – 300 mW arısında değerler kullanılarak spektrumlar elde edilmiştir. Partiküllerden elde edilen spektrumlar polimer kütüphanelerindeki referans spektrumlar ile eşleştirilerek, partikül türlerinin hangi polimer türevlerine ait oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 4.14. Kütüphane eşleşmesi Raman spektrum örnekleri

μ -Raman analizi spektrum sonuçlarına (Şekil 4.14) göre 5 farklı polimer türevi tespit edilmiştir. En yoğun olarak gözlemlenen polimer türevi polipropilen (%67) olmuştur. Diğer

tespit edilen polimer türevleri ise polivinil alkol (%13), polietilen resin (%13) ve polietilen yüksek densite (%7) olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Tespit edilen polimer türev yüzdeleri.

5. TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

Yamula Barajı MP kirlilik seviyesinin belirlenmesi ile ilgili yaptığımız çalışmada, baraj gölünün yüzey suyunda bulunan MP kirlilik oranının sediment oranına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Su numunelerinde baskın renk siyah olmakla birlikte mavi, beyaz, şeffaf ve kırmızı renk varlığı, tip olarak da en çok fiber tespit edilmiştir. Sediment örneklerinde ise baskın renk siyah ve daha az oranda beyaz renk tespit edilmiştir. Sediment örneklerinde MP tip dağılımı fiber olarak belirlenmiştir. Yapılan spektrum analizleri göstermiştir ki göle karışan atık su kaynaklarından ve çevre kirliliğinden kaynaklı en çok sentetik kumaşlarda kullanılan PP ve ambalaj sektörü ile tek kullanımlık malzemelerin üretiminde kullanılan PVA ve PE olmuştur.

Kızılırmak nehri üzerinde yamula barajı çalışma alanımızdan sonra gelen, Nevşehir ve Kırşehir sınırları içerisinde akarsu yatağında alınan ve yedi örnekleme noktası içeren bir başka çalışmada 200 mikron çaplı elekler kullanılarak MP kirliliği tespit çalışması yapılmıştır (Ozkor, 2022). Çalışmada en çok siyah mavi ve beyaz lif tipli MP parçaları tespit edilmiştir. Tespit edilen MP liflere genel olarak sentetik malzeme içeren tekstil ürünlerinin çamaşır makinelerinde yıkanması ve evsel atık olarak deşarj edilmesinden kaynaklı su yatağına ulaştığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar bizim çalışma sonuçlarımızla uyumludur.

Kayseri bölgesi üzerinde bulunan Sultan sazlığı, Hürmetçi sazlığı ve Yamula barajı yüzey suları MP kirliliğinin incelenmesi isimli 2020 yılında yapılan bir çalışmada yaz dönemi parametreleri içinde Yamula barajı yüzey suyu MP kirlilik seviyesinin ortalama 0,6147 mg/L olduğu tespit edilmiştir (Aydin, 2020). FTIR analizlerinde en çok rastlanan bileşimler ise kozmetik ve boya sektöründe en çok kullanılan hidroksipropil selüloz olmuştur. Bunu kâğıt kaplamalarda, boya sektöründe ve plastiklerde karbondioksit bariyeri olarak kullanılan polivinil alkol ve gıda sektöründe kullanılan Poli (Etilen Oksit) izlemiştir. Bu çalışmada elde edilen birimler farklı olduğu için bizim çalışmamızla kıyaslama yapılamamıştır.

Dünyadaki tatlı su gölleri arasında ikinci sırada bulunan Afrika'nın doğusundaki Victoria gölünde yapılan çalışmada tespit edilen MP türü bizim çalışmamızla aynı türde tespit edilen PE ve PP olmuştur. MP miktarı ise Victoria gölünde 0,02-2,19 MP/m³

aralığında bulunurken (Egessa vd., 2020), Yamula barajında tespit edilen MP miktarı ise 0,92 MP/ m³ oranında bulunmuştur.

Sucul ortamların MP'lerle kirlenmesi, özellikle okyanuslarda, nehirlerde ve göllerde son yıllarda büyük ölçüde belgelenmiştir, ancak bunların uzak dağ göllerinde meydana gelmeleri neredeyse hiç dikkate alınmamıştır. İsviçre'de bir gölde MP'lerin varlığını tespit etmek için yapılan çalışmada yüzey suyunda 2,6 MP/L tespit edilirken, sediment analizinde ise ortalama 33 MP/kg MP birikimi olduğunu göstermiştir. Yamula barajı üzerinde yaptığımız çalışmaya göre yüzey suyunda daha fazla, sedimentte ise daha az MP miktarı tespit edilmiştir.

Tablo 5.1. MP üzerine yapılan bazı çalışmaların karşılaştırması.

Ülke	Bölge	Miktar	Boyut	Örnek	Referans
Uganda	Kuzey Victoria	0,02-2,19 MP / m ³	0,3-4,9 mm	Yüzey	Egessa vd., 2020
Hindistan	Red Hills Gölü	5,9 MP/L	0.3-5mm	Yüzey	Gopinath vd., 2020
		27 MP/KG		Sediment	
İsviçre	Uzak Dağ Gölü	2,6 MP/	0,125-5mm	Yüzey	Negrete Velasco, 2020
		33 MP/KG		Sediment	
Türkiye Yozgat	Süreyyabey Baraj Gölü	4,09 MP /m ³	< 5 mm	Yüzey	Tavşanoğlu vd., 2020
Türkiye Kayseri	Yamula Baraj Gölü	0,6147 mg/L		Yüzey	Aydin, 2020
Türkiye Kayseri	Yamula Baraj Gölü	0,92 MP/ m ³	0,2 - 4 mm	Yüzey	(Bu Çalışma)
		0,2 MP/g	300 mm	Sediment	

5.1. Sonuç

Çalışma alanı olarak bölgede aktif olarak kullanılan Yamula barajı seçilmiştir. MP kirlilik seviyesi ölçümü 2021 yılı Ağustos ayı içerisinde tek seferde yapılmış ve su kalitesi üzerinde olan etkisi araştırılmıştır. Nehirde sürekli olan akıntı mevsimlere göre debi farklılıkları gösterse de baraj kapaklarının açılma sıklığı ve yağışların etkisi baraj gölündeki su miktarı üzerinde etkisi olacaktır. Baraj kapaklarının su seviyesinin altında olması tahliyelerin de buralardan yapılması sebebiyle yoğunluk farkından dolayı su yüzeyinde biriken MP parçaların miktarının artmasına sebep olabilir. Kontrolsüz olarak doğaya atılan plastik parçaların rüzgâr ve yağmur sularıyla nehirlere ulaşması da kirlilik seviyesini arttıracaktır. Kirlenen doğayı ve su kolonlarını temizlemenin çok zor olduğu ve bozulan

ekosistemin tekrar yerine getirilmesi neredeyse imkânsız ve sadece düşük oranda düzeltmenin bile aşırı maliyetli olduğu düşünüldüğünde doğal yaşam alanlarının kirlenmeden önce alınması gereken önlemler üzerinde şiddetle durulmalıdır.

Günlük hayatımızda plastik malzemelerin kullanımı her geçen gün artarak bozulmaya dayanıklı malzemeler olması ile birlikte nihayetinde çevrede birikmelerine neden olmuştur. Çevre faktörleri ve çeşitli sebeplerle hacimleri küçülen plastiklerin, MP olarak su ortamlarına giriş miktarı artmıştır. MP, daha yüksek yüzey ve hacim oranı nedeniyle çevredeki ortamlardan organik kirleticileri ve patojenleri emdiği için insanlar ve sudaki organizmalar üzerindeki etkisinden dolayı son yıllarda büyük bir endişe kaynağıdır.

Dünya üzerindeki değişik göllerde MP kontaminasyonunun dağılımını ve kaynağını incelemeye yönelik yapılan çalışmalarda göstergelerden de anlaşılabileceği üzere şehir yakınında ve atık su arıtma tesislerinin deşarjı üzerinde bulunmasa da MP kirliliğinin varlığı tespit edilmiştir.

Gerek ülkemizde, gerekse dünyanın farklı yerlerinde MP varlığı ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. MP varlığını bir kirletici ve ilerleyen yıllarda sanayi ve nüfus artışıyla birlikte artan potansiyel bir tehlike olarak düşündüğümüzde su kolonlarında yapılan çalışmalarla miktarları hakkında bilgi sahibi olmamız gerektiği kaçınılmazdır. Türkiye'nin en uzun nehirlerinden biri üzerine kurulu Yamula barajında yüzey ve sediment örneklemelerinde tespit edilen MP miktarı, ülkemizde ve farklı ülkelerde yüzey ve sediment alanlardan alınan örneklerde tespit edilen MP miktarından daha düşük oranda tespit edilmiştir.

Plastiklerin kolay temin edilebilir, işlenebilir, ucuz, dayanıklı ve geri dönüşümü olan gibi birçok özelliklerinden dolayı hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Gıda, yiyecek içecek tekstil gibi sektörlerde kullanımı hayatımızın her alanında fayda sağlamaktadır. Bu faydaları yanında üretim aşamasında kullanılan kimyasallar ya da başka canlıların besin zannedip tüketmelerinden kaynaklı zararları da bulunmaktadır. Parçalanma sonucu polimer özelliğini kaybetmeden küçük parçalar haline gelen MP'lerin canlılar tarafından tüketilmeleri vücutlarında birikmeye ve sonucunda sahte tokluk hissiyatından dolayı ölüme kadar devam eden süreçle sonuçlanmaktadır. Gıda benzerliğinden dolayı MP

ile beslenen canlıların besin zinciri içerisinde kendilerinden daha büyük canlılara yem olmaları o canlıların vücutlarında MP birikimlerini arttıracaktır.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada örnekleme çalışmaları tek seferde hem yüzeyden hem de sediment örneklerinden alınarak yapılmıştır. Su parametre değerlerindeki değişiklikler ve MP miktarının ne düzeyde olduğunu anlamak için yılın değişik zamanlarını kapsayacak şekilde yapılacak çalışma meydana gelecek değişiklikleri izleme açısından daha verimli olacaktır. Bu çalışmadan daha sonra yapılacak bu ve buna benzer çalışmalarda araştırmacıların elinde karşılaştırma ile ilgili veri olacağından nehrin ve barajların kirlilik seviyesinin ilerleme oranı hakkında bilgi sahibi olunmasında kaynak olarak kullanılabilir.

Plastik malzeme ve türevlerinden tüm dünya olarak uzaklaşmamızın zor olduğunu kabul ederek, kullanım kaynaklı oluşacak atık yönetiminin sistemli bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Özellikle sanayi bölgeleri olmak üzere atık su arıtma tesisleri dışında kontrolsüz deşarjlara izin verilmeden atık suların arıtma tesislerinden geçmesi sağlanmalıdır. Atık su arıtma tesislerinin deşarj edilmeden önce yapılacak filtreleme sistemine özen gösterilip, tesisten çıkan katı filtre partiküllerinin de plastik atık içerdiğini unutmadan diğer kullanım alanlarına sevkiyatı yapılmalıdır.

Unutulmamalıdır ki toplum olarak alınması gereken önlemlerin dışında bireysel olarak alınacak önlemler, plastik malzemelerin doğada daha az kalmasını sağlayacak ve çevre kirliliğinin önlenmesinde en büyük faktör olacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Acir, N., Günal, H., Çelik, İ. (2020). Organik maddeden uzaklaştırılmasının analizine yönelik etkiler. ANAJAS.
- Adane, L. and Muleta, D. (2011). Research on the use, disposal and negative effects of plastic bags on the environment: Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences Vol. 3(8) p. 234-248.
- Akarsu, C., Kıdeyş, A. E., & Kumbur, H. (2017). Evsel Atık Su Arıtma Tesislerinin sucul ekosisteme mikroplastik tehditi. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi* , 73-78.
- Alasalvar, C., Shahidi, F., Miyashita, K., Wanasundara, U. (2010). Handbook of Seafood Quality, Safety and Health Applications. *Handbook of Seafood Quality, Safety and Health Applications*. Wiley-Blackwell. ISBN: 9781405180702
- Altuğ, H. (2020). Yozgat Atık Su Arıtma Tesisinin mikroplastik tutma kapasitesinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat.
- Anderson, J.C., Park, B.J., Palace, V.P. (2016). Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environmental Pollution Series A Ecological and Biological*, 218: 269-280.
- Andrady, A. L. & Neal, M. A. (2009). *Applications and societal benefits of plastics*. Phil. Trans. R. Soc. B 364, 1977–1984.
- Apme. (2006) *An analysis of plastics production, demand and recovery in Europe*. Brussels: Association of Plastics Manufacturers.
- Aydin, E. (2020). Yüzey sularında mikroplastik kirliliğinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Baeurle, S. A., Hotta, A, Gusev, A.A. (2006). *On the glassy state of multiphase and pure polymer materials*. Polymer. 47 (17): 6243-6253.
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. (2009). *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments*. Phil. Trans. R. Soc. B 364, 1985– 1998.
- Bayrak, T. (2016). Yamula Barajında Deformasyon Analizi . Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi , 2 (1) , 1-12 . <https://dergipark.org.tr/en/pub/yted/issue/22220/238544>

- Bernardo, C. A., Simões, C. L., & Pinto, L. M. C. (2016). Environmental and economic life cycle analysis of plastic waste management options. *A review. In AIP Conference Proceedings* (Vol. 1779, No. 1, p. 140001).
- Biron, M. (2003). Thermosets and composites. *Elsevier*.
- 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 and Technology*, 42(13), 5026-5031.
- Carr, S., Liu, J., & Tesoro, A. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plant. *Water Research*, 174-182.
- Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water. Res.* 91, 174-182.
- Choi, J.S., Hong, S.H., Park, J.W., (2019). Evaluation of microplastic toxicity in accordance with different sizes and exposure times in the marine copepod *Tigriopus japonicus*. *Mar. Environ. Res.* 104838.
- Choi, J.S., Hong, S.H., Park, J.W., (2019). Evaluation of microplastic toxicity in accordance with different sizes and exposure times in the marine copepod *Tigriopus japonicus*. *Mar. Environ. Res.* 104838.
- Çatabaş, F. (2019). Mikroplastiklerin su ortamlarına ve canlılara etkileri, web sayfası: http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/69377/39294/fatih_%C3%A7atalba%C5%9F_sunum.pptx.
- Du, F., Cai, H., Zhang, Q., Chen, Q., Shi, H. (2020). Microplastics in take-out food containers. *Journal of Hazardous Materials*, 399, 122969.
- Duis, K., Coors, A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environ. Sci. Eur.* 28(1): 2.
- EFSA Publication, (2016). Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. European Food Safety Authority. the EFSA Journal, No. 4501, Vol. 14(6)
- Egessa, R., Nankabirwa, A., Ocaya, H., & Pabire, W. G. (2020). Microplastic pollution in surface water of Lake Victoria. *Science of the Total Environment*, 741, 140201.

- Eraslan, S. (2019). Kızılırmak Deltası ekolojik risk değerlendirmesi, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., & Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PloS one*, 9(12), e111913.
- Fadare, O.O., Okoffo, E.D., Olasehinde, E.F. (2021). Microparticles and microplastics contamination in African table salts. *Marine Pollution Bulletin*, 164.
- Fendall, L. S., & Sewell, M. A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. *Marine pollution bulletin*, 58(8), 1225-1228.
- Frias, J.P.G.L., Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin* 138: 145-147.
- Gedik, K., Eryaşar, A.R. (2020). Microplastic Pollution Profile of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected along the Turkish Coasts. *Chemosphere*: 127570.
- GESAMP, (2016). The Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Sources, Fate and Effects of Microplastics In The Marine Environment: Part Two of A Global Assessment, International Maritime Organization, *Reports and Studies* No 93, 221 pp.
- GESAMP, (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. (Kershaw, P.J. & Rochman, C.M., eds). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93, 220 pp.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
- Gopinath, K., Seshachalam, S., Neelavannan, K., Anburaj, V., Rachel, M., Ravi, S., ... & Achyuthan, H. (2020). Quantification of microplastic in red hills lake of Chennai city, Tamil Nadu, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(26), 33297-33306.
- Gotro, J., & Prime, R. B. (2002). Thermosets. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 1-75.

- Gourmelon, G. (2015). Global plastic production rises, recycling lags, vitalsigns.worldwatch.org, (27), 1-7.
- Gündoğdu, S. (2018). Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 35(5), 1006-14.
- Harper, C.A. (2006) Handbook of plastics technologies, *IEEE Electr.*, 22(6), 53, 2006.
- Hidalgo, L. A., Van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107199. [107199]. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- 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. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3060–3075.
- Huang, Y., Qing, X., Wang, W., Han, G., Wang, J. (2020). Mini-review on current studies of airborne microplastics: *Analytical methods, occurrence, sources, fate and potential risk to human beings*. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 125: 115821.
- Imran, M., Das, K. R., Naik, M. M. (2018). Co-selection of multi-antibiotic resistance in bacterial pathogens in metal and microplastic contaminated environments: An emerging health threat. *Chemosphere*.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Kataoka, T., Nihei, Y., Kudou, K., Hinata, H. (2019). Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan. *Environmental Pollution*, 244.
- Kazour, M., Terkia, S., Rabhia, K., Jemaab, S., Khalaf, G.R.A. (2019). Sources of microplastics pollution in the marine environment: Importance of wastewater treatment plant and coastal landfill. *Marine Pollution Bulletin* 146: 608–618.
- Kershaw, P.J., Rochman, C.M. (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment. *Rep. Stud.* 93, 221.

- Liebezeit, G., Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives and Contaminants -Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 30(12), 2136-40.
- Lusher, A.L., Welden, N.A., Sobral, P., Cole, M. (2017). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Analytical Methods*, 9(9), 1346-60.
- Madhuchhanda, M., Mithun, B., Anil, K., Bhowmick. (2008) Elastomer Nanocomposites. *Rubber Chemistry and Technology* 81 (3): 384–469.
- Mohamed, Nor, N.H., Kooi, M., Diepens, N.J., Koelmans, A.A. (2021). Lifetime Accumulation of Microplastic in Children and Adults. *Environmental Science & Technology*, 55(8), 5084-96.
- Negrete, Velasco, A. D. J., Rard, L., Blois, W., Lebrun, D., Lebrun, F., Pothe, F., & Stoll, S. (2020). Microplastic and fibre contamination in a remote mountain lake in Switzerland. *Water*, 12(9), 2410.
- Neu, L., Bänziger, C., Proctor, C. R., Zhang, Y., Liu, W. T., Hammes, F. (2018). Ugly ducklings—the dark side of plastic materials in contact with potable water. *npj Biofilms and Microbiomes*, 4(1), 7.
- Legge, Norma. R. (1987). Thermoplastic Elastomers. *Rubber Chemistry and Technology*, 60 (3): 83–117.
- Oßmann, B.E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S.H., Dicke, W. (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research* 141, 307-16.
- Ozkor, B. (2022). Kızılırmak nehir sularında mikroplastik kirliliğinin araştırılması (Yüksek lisans tezi) Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi
- PAGEV, (2021). Türkiye Plastik Sektör İzleme Raporu, 6
- Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliva-Teles, L., Guilhermino, L., Vieira, M.N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 219, 161-8.
- Plastics Europe, (2015). *Plastics- the Facts 2015*, <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics---the-facts-2015.aspx?FolID=2>.

- Rainieri, S., Barranco, A. (2019). Microplastics, a food safety issue? *Trends in Food Science and Technology*, 84, 55-7.
- Rios, Lorena. (2015). Characterisation of microplastics and toxic chemicals extracted from microplastic samples from the North Pacific Gyre.
- Rochman, C.M., Parnis, J.M., Browne, M.A., Serrato, S., Reiner, E.J., Robson, M., Young, T., Diamond, M.L., Teh, S.J. (2017). Direct and indirect effects of different types of microplastics on freshwater prey (*Corbicula fluminea*) and their predator (*Acipenser transmontanus*). *PLOS ONE* 12(11): e0187664.
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.U., Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154-62.
- Shanks, R. (2012). Thermoplastic elastomers. In *Thermoplastic elastomers* (pp. 137-154). *RMIT University*.
- Sharma, S., Chatterjee, S. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27), 21530-21547.
- Sierra, I., Chialanza, M.R., Faccio, R., Carrizo, D., Fornaro, L., Perez-Parada, A. (2020). Identification of microplastics in wastewater samples by means of polarized light optical microscopy. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 27(7) : 7409-7419.
- Singh, R. P. ve Agrawal, M. (2008). Potential benefits and risks of land application of sewage sludge, *Waste Management*, 28(2), 347-358.
- Swift, G., & Wiles, D. (2004). Degradable polymers and plastics in landfill sites. *Encyclopedia Polym. Sci. Technol.* 9, 40–51.
- Şener, M. *İstanbul'un Karadeniz kıyılarında mikroplastik kirliliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi , İstanbul.
- Tavşanoğlu, Ü. N., Başaran Kankılıç, G., Akca, G., Çırak, T., & Erdoğan, Ş. (2020). Microplastics in a dam lake in Turkey: type, mesh size effect, and bacterial biofilm communities. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(36), 45688-45698.

- Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W., McGonigle, D., Russell, A.E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304(5672): 838.
- Verschoor, A., de Poorter, L., Roex, E., Bellert, B. (2014). Quick scan and prioritization of microplastic sources and emissions. *RIVM letter report* 2014-0156.
- Wallace, C.A., Sperber, W.H., Mortimore, S.E. (2010). Food safety for the 21st century: Managing HACCP and food safety throughout the global supply chain. *Food Safety for the 21st Century: Managing HACCP and Food Safety throughout the Global Supply Chain* (pp. 1–310). John Wiley & Sons, ISBN 1119053587.
- Wang, W., Gao, H., Jin, S., Li, R., Na, G. (2019). The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173, 110-7.
- Weber, A. (2018). *What about us?* Effects of nano- and microplastics on human immune cells, micro2018.
- Wessel, C. C., Lockridge, G. R., Battiste, D., Cebrian, J. (2016). *Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries, USA*, 109, 178-183.
- Wright, S.L., Kelly, F.J. (2017). Plastic and human health: A micro issue? *Environmental Science and Technology*, 51(12), 6634-47.
- Wu, W. M., Yang, J., & Criddle, C. (2017). Microplastics pollution and reduction strategies. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(1), 6.
- Yarsley, V. E. & Couzens, E. G. (1945). *Plastics* Middlesex: Penguin Books Limited.
- Yonkos, L. T., Friedel, E. A., Perez-Reyes, A. C., Ghosal, S., & Arthur, C. D. (2014), Microplastics in four estuarine rivers in the Chesapeake Bay, USA, *Environmental Science & Technology*, 48(24), 14195-14202.
- Yurtsever, M. (2019). Nano - ve Mikroplastik' lerin İnsan Sağlığı ve Ekosistem Üzerindeki Olası Etkileri, *Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 5(2), 17-24.
- Zeytin, S., Wagner, G., Mackay-Roberts, N., Gerdts, G., Schuirmann, E., Klockmann, S., Slater, M. (2020). Quantifying microplastic translocation from feed to the fillet in European sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111210.

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



