

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIZILIRMAK NEHRİ SULARINDA
MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Beyza ÖZKOR**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2022
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KIZILIRMAK NEHRİ SULARINDA
MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Beyza ÖZKOR**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2022
NEVŞEHİR**

Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU danışmanlığında **Beyza ÖZKOR** tarafından hazırlanmış “**Kızılırmak Nehri Sularında Mikroplastik Kirliliğinin Araştırılması**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

...../...../2022

JÜRİ

Başkan : Doç. Dr. Seval ARAS

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin CÜCE

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun.....tarih ve.....sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.... /.../2022

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK

TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar dahilinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan bütün ifadelerin ve bilgilerin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Beyza ÖZKOR



TEŞEKKÜR

Lisans eğitimim ve yüksek lisans öğrenimim boyunca; değerli yönlendirmeleri, özverili yaklaşımı, bilimsel birikimi ile benden her türlü desteğini esirgemeyen ve tez sürecinde bana güvenen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince analiz çalışmalarımnda çok büyük katkıda bulunan erdemli ve saygıdeğer hocam Doç. Dr. Seval ARAS'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden hiç esirgemeyen, her zaman benimle gurur duyan başta anneme ve babama, aileme çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda hissettiğim, başarıma her daim inanan arkadaştan öte olan diğer ailem; Ayşenur ÖZTEKİN, Sümeyra EKE, Ümmügülsüm YILMAZ, A. Vildan ÇETİN Rumeysa ERDEMLİ ve Tuğçe UZUNAY'a teşekkür ederim.

Çalışmamı yaparken beni her daim cesaretlendiren ve bu yolda birlikte yürüdüğüm azimli arkadaşım Selen LALE'ye teşekkür ederim.

KIZILIRMAK NEHRİ SULARINDA MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Beyza ÖZKOR

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Kızılırmak Nehri'nin geçtiği Nevşehir ve Kırşehir illerinde ve Haziran-Temmuz 2021 tarihinde yürütülen bu çalışmada, Kızılırmak Nehri sularında mikroplastik kirliliği incelenmiştir. Çalışmada iki farklı örnekleme yöntemi uygulanmıştır. İlk numune alma yönteminde ırmağın yüzeye yakın noktasından alınan 100 L su numunesi 200 µm gözenek çaplı elekten geçirilmiştir. İkinci yöntemde ise 500 µm gözenek çaplı kepçe ırmağın akıntılı bir noktasında ve yüzeye yakın şekilde 5 dk tutulmuş ve elek üstündeki katı maddeler incelenmiştir. Laboratuvar ortamında ise ilk deney yöntemi eleme, ıslak oksidasyon ve filtrasyon işlemleri iken, ikinci deney yöntemi eleme, ıslak oksidasyon ve yoğunluk farkıyla ayırma yöntemleri olmuştur. Her iki deney yönteminde katı maddeler ayrıştırıldıktan sonra kalıntılar mikroskop altında 40x büyütme ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda ikinci deney yönteminde hem Nevşehir, hem de Kırşehir'den alınan örneklerde mikroplastiklere rastlanmış fakat miktarı tespit edilememiştir. Kepçeyle örneklemede ise mikroplastiklere rastlanılmamıştır. Atıksu arıtma tesisinin deşarj olduğu yerlere yakın yerlerde mikroplastığın daha yoğun olduğu ve en çok görülen mikroplastik tipinin lif tipli mikroplastik olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Akarsu, Kızılırmak
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU
Sayfa Adedi: 92

INVESTIGATION OF MICROPLASTIC POLLUTION IN KIZILIRAK RIVER WATERS

(Master Thesis)

Beyza OZKOR

NEVSEHIR HACI BEKTAŞ VELI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCES

January 2022

ABSTRACT

In this study, which was carried out in Nevşehir and Kırşehir provinces where Kızılırmak River passes, and in June-July 2021, microplastic pollution was investigated in Kızılırmak River waters. Two different sampling methods were applied in the study: In the first sampling method, 100 L water sample taken from the near surface of the river was passed through a 200 µm pore diameter sieve. In the second method, the scoop with a pore diameter of 500 µm was held at a flowing point of the river and close to the surface for 5 minutes, and the solids on the sieve were examined. In the laboratory, the first test method is sieving, wet oxidation processes and filtration, while the second test method is sieving, wet oxidation and separation by density difference. In both test methods, after the solids were separated, the residues were observed under the microscope with 40x magnification. As a result of the study, microplastic was found in the samples taken from both Nevşehir and Kırşehir in the second test method, but its amount could not be determined. No microplastic was found in sampling with ladle. It has been observed that microplastics are more concentrated in places close to the discharge point of wastewater treatment plant, and the most common type of microplastic is fiber type microplastics.

Keywords: Microplastic, River, Kızılırmak

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Hakan DULKADIROGLU

Number of Pages: 92

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
RESİMLER LİSTESİ	x
KISALTMALAR	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
2.BÖLÜM	4
GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kavramlar ve Tanımlar	4
2.2. Mikroplastiklerin Genel Özellikleri	5
2.3. Mikroplastiklerin Sınıflandırılması.....	8
2.3.1 Mikroplastiklerin renk olarak sınıflandırılması	8
2.3.2 Mikroplastiklerin şekil olarak sınıflandırılması	10
2.3.3 Mikroplastiklerin boyut olarak sınıflandırılması	12
2.3.4 Mikroplastiklerin tür olarak sınıflandırılması	12
2.4 Mikroplastiklerin Canlılara Etkisi.....	14
2.4.1 Besin zinciri yoluyla alınan mikroplastikler ve insan sağlığına etkisi.....	14
2.4.2 Mikroplastiklerin toprağa ve toprak biyotasına etkisi.....	17
2.4.3 Mikroplastiklerin mikroorganizmalara ve diğer hayvanlara etkisi.....	20
2.5 Mikroplastik Kaynakları	22
2.5.1 Birincil kaynaklı mikroplastikler	26
2.5.2 İkincil kaynaklı mikroplastikler	27
2.6 Mikroplastik Kirliliğinin Giriş Noktası Nehirler ve Mikroplastik Taşınımı.....	28
2.6.1 Nehirlere atıksu arıtma tesislerinden gelen mikroplastikler.....	31
2.7 Mikroplastik Analiz Yöntemleri	34
3. BÖLÜM	35
METARYAL VE METOT	35

3.1 Çalışma Alanı.....	35
3.1.1 Kızılırmak Nehri – Nevşehir İli	36
3.1.2 Kızılırmak Nehri – Kırşehir İli.....	39
3.2 Numunelerin Alımı	42
3.3 Laboratuvar Ön İşlemleri	43
3.3.1 Oksidasyon-filtrasyon yöntemi	43
3.3.2 Oksidasyon-yoğunluk farkı ile ayırma yöntemi.....	45
4. BÖLÜM	49
DENEYSEL BULGULAR	49
5. BÖLÜM	57
SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	57
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	76
EK-1	77

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Plastiklerin imalatında ve işlenmesinde kullanılan katkı maddeleri ve kimyasallar	7
Tablo 2.2 Mikroplastiklerin sınıflandırılması	8
Tablo 2.3 Plastiklerin türleri, üretim hacmi ve olası kullanımları	13
Tablo 2.4 Mikroplastik kaynakları ve giriş noktaları.....	23
Tablo 2.5 Birincil mikroplastik ana kaynakları	27
Tablo 2.6 İkincil mikroplastik ana kaynakları	28

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Farklı çeşitte mikroplastik renkleri (0.5 mm ölçekte).....	10
Şekil 2.2 a) Yüzey sularında bulunan tipik mikroplastikler ve b) tortu (sediment) numuneleri; c) mikroplastiklerin morfolojisi	11
Şekil 2.3 Mikroplastiklerin insan yaşamına giriş noktaları ve etkisi	16
Şekil 2.4 Mikroplastığın zooplankton tarafından yutulması	21
Şekil 2.5 Nehirlere ulaşan mikroplastik kaynakları	30



RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1 Nevşehir Kızılırmak Nehri numune alım noktası – 1. istasyon.....	36
Resim 3.2 ve Resim 3.3 Nevşehir Kızılırmak Nehri 1. numune alım yeri	37
Resim 3.4 Nevşehir Kızılırmak Nehri numune alım noktası – 2. istasyon.....	37
Resim 3.5 ve Resim 3.6 Nevşehir Kızılırmak Nehri 2. numune alım noktası	38
Resim 3.7 Nevşehir Kızılırmak Nehri numune alım noktası - 3. istasyon.....	38
Resim 3.8 ve Resim 3.9 Nevşehir Kızılırmak Nehri 3. numune alım yeri	39
Resim 3.10 Kırşehir Kızılırmak Nehri numune alım noktası – 1. istasyon	40
Resim 3.11 ve Resim 3.12 Kırşehir Kızılırmak Nehri 1. numune alım yeri.....	40
Resim 3.13 Kırşehir Kızılırmak Nehri numune alım noktası – 2. istasyon	41
Resim 3.14 ve Resim 3.15 Kırşehir Kızılırmak Nehri 2. numune alım yerleri	41
Resim 3.16 Numune alınımında sahada kullanılan 200 µm gözenek çaplı çelik elek....	42
Resim 3.17 Numuneleri elekten süzme işlemi.....	43
Resim 3.18 Nehirden kepçeyle numune alınması	43
Resim 3.19 Manyetik karıştırıcıdan numunenin ısıtma işlemi	44
Resim 3.20 Filtrasyon işlemi ve üzerindeki kalıntılarla birlikte membran filtre	44
Resim 3.21 0,05 M FeSO ₄ .7H ₂ O yardımıyla peroksit ile ıslak oksidasyon işlemi.....	46
Resim 3.22 Yoğunluk farkı ile ayırma ve bekletme işlemi.....	46
Resim 3.23 Elekte kurutulan katı parçacıklar	47
Resim 3.24 Katı parçacıkları petri kabına alma işlemi	47
Resim 3.25 Nevşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (N1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü.....	49
Resim 3.26 Nevşehir-Kızılırmak 2. istasyon elek numunesi (N2-E-Ö1) mikroskop görüntüsü.....	50
Resim 3.27 Nevşehir-Kızılırmak 2. istasyon kepçe numunesi (N2-K-Ö1) mikroskop görüntüsü.....	50

Resim 3.28 N3-E-Ö2 Nevşehir-Kızılırmak 3.istasyondan alınan numunenin mikroskop görüntüsü.....	51
Resim 3.30 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-2	52
Resim 3.31 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-3	53
Resim 3.32 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-4	53
Resim 3.33 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-5	54
Resim 3.34 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-6	54
Resim 3.35 Kırşehir-Kızılırmak 2. istasyon elek numunesi (K2-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-1	55
Resim 3.36 Kırşehir-Kızılırmak 2. istasyon elek numunesi (K2-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-2	55
Resim 3.37 Kırşehir-Kızılırmak 2. istasyon kepçe numunesi (K2-K-Ö2) mikroskop görüntüsü.....	56

KISALTMALAR

AAT: Atıksu Arıtma Tesisi

BPA : Bisfenol A

DDT : Dikloro Difenil Trikloroetan

KOK : Kalıcı Organik Kirletici

NP : Nanoplastik

PA : Poliamid

PAH : Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar

PE : Polietilen

PET : Polietilen Tereftalat

PCB : Polivinil Klorür

PP : Polipropilen

PS : Polistiren

PVC : Polivinil Klorür

UV : Ultraviyole Işımı

VC : Vinil Klorür

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Dünyada gittikçe artan plastik üretimi ve tüketimi, buna karşılık yetersiz plastik atık geri kazanımı ile plastik atıklar hızlı bir şekilde birikmektedir. Biriken ve atık dağları haline gelen bu plastik atıklar doğada uzun süre yok olmamakta, sadece ufalanmaktadır. Doğrudan ya da dolaylı olarak çok küçük boyutlara ulaşan bu plastikler kolaylıkla her ortama dağılabilmektedir. Makro boyuttaki plastik atıkların su ve hava hareketleri, kıyı akımları gibi doğal yollar, insan eliyle oluşan farklı aktiviteler ve atıksu arıtımı çıkış sularının kaynaklara deşarjları aracılığıyla mikro boyutta plastiklere bölünerek nehirlere ve oradan denizlere ulaşmış olması, insan eliyle oluşturulan bu kirliliğin çok uzak noktalara bile taşınabildiğini göstermektedir. Doğal su kaynaklarında, toprakta, şişe veya çeşme sularında, anne karnında, su ürünlerinde, kutuplarda ve deniz gibi su kütlelerine dökülen akarsularda hatta denizlerin ve okyanusların dip sedimentlerinde bile mikroplastikler bulunabilmektedir.

Okyanusların mikroplastik kontaminasyonu, dünyanın en acil çevresel sorunlarından biri olmuştur [1]. Okyanuslarda biriken mikroplastikler, yağmur bulutlarını oluşturan buharlaşmada bulunabilecek kadar küçüktür ve böylece yağışlar ile birlikte mikroplastikler sonraki aşamada dağlık bölgelere ve diğer uzak yerlere ulaşabilmektedir. Daha sonra göller ve nehirler, mikroplastikleri okyanusa geri taşıyarak plastik döngüsünü oluşturmaktadır [2].

Mikroplastikler, mikro boyutlu atığın önemli bir bileşenini oluşturmakta ve Kuzey Kutbu'ndan tropiklere kadar uzanan deniz ekosistemlerinde yaygın olarak bulunmaktadır [3]. Sucul ortamlardaki mikroplastikler foto-oksidatif parçalanma, hidrofobik yüzey, kirleticileri okyanuslara taşıma potansiyeli, yüzücülük, kalıcı organik kirletici absorplayabilme gibi niteliklere sahip olabilmektedir. Sucul canlılar, mikroplastikleri besin sanarak yemeleri veya bunların yüzgeçlerine-organlarına takılması gibi yollarla olumsuz etkilenmekte, hatta ölebilmektedir. Özellikle tatlı su sistemlerinde

mikroplastiklerin oluşumu hakkındaki bilgiler bazı kilit alanlarda belirsiz olsa da günümüzde yapılmış çalışmalar ile yadsınamaz tehlikeleri ortaya konmaktadır [4, 5, 6]. Avrupa Kimyasallar Ajansının, tanımında “kimyasal katkı maddelerinin veya diğer maddelerin eklenebileceği -biyobozunurlar hariç- katı polimerik malzemeler” olarak tanımladığı mikroplastikler hakkında son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucunda, dünya genelinde plastiklere olan ilgi artmakla birlikte Avrupa’da çoğu ülkede naylon poşetler yasaklanmıştır. Aynı zamanda Amerika Birleşik Devletleri (ABD) kişisel bakım ürünleri gibi kozmetik ürünlerindeki mikrobuncukların kullanımını yasaklamıştır [7,8].

Ülkemizde mikroplastikler ve çevreye verdiği zararlara yönelik çok az çalışma vardır. Mikroplastik için belirli bir kısıtlama yoktur fakat 2019 yılında bu konuyla ilgili naylon-poşet kullanımına sınırlama getirilmiştir. Bu yüzden ülkemizde mikroplastiklerle ilgili uygulamalar yetersiz olmakla birlikte, mikroplastiklerin hem insan ve çevre üzerine etkileri ile ilgili daha fazla çalışma yapılması ve bu konuda toplumun bilinçlendirilmesi gerektiği önerilmektedir [9]. Ulusal çalışmalar incelendiğinde, mikroplastiklerin tespitinde karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilebilmesi için uluslararası veya ulusal standartlarda kabul edilmiş bir analiz yöntemi ve arıtma tesislerinde mikroplastiklerle ilgili bir düzenleme ya da bir limit değeri olmadığı görülmüştür.

Ülkemizde akarsular üzerinde mikroplastik kirliliği üzerinde yapılacak araştırmalar mikroplastik konsantrasyonu belirlenmesi ve önlenmesi bakımından büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizin en büyük nehri Kızılırmak Nehri’nde (Nevşehir – Avanos civarı) meydana gelen kirlilik su kalitesine önemli ölçüde yansımıştır. Yapılan çalışmalar, Kızılırmak Nehri suyunda belirli noktalarda tespit edilen kirleticilerin ağırlıklı olarak tarımsal, evsel ve insan faaliyetleri kaynaklandığını göstermektedir [10].

Geçtiği noktalarda enerji kaynağı olarak kullanılabilen ve sağladığı verimli topraklarla önemini koruyabilen Kızılırmak Nehri’nin ekosisteminde gün geçtikçe artarak denizel ortamda biriken plastik atıklar; sosyoekonomik, çevre sağlığı ve ekolojik etkileri ile zarar vermektedir. Rüzgarlarla kolaylıkla ırmaklara taşınabilir ve yüksek yüzerlikleri nedeniyle kaynağından uzak bölgelere akıntularla ulaşabilir nitelikteki mikroplastiklerin kirlilik

açısından oldukça büyük etkisi göz önüne alınırsa Kızılırmak için büyük tehdit oluşturdukları düşünülmektedir. Mikro boyuttaki plastik atıklar, Kızılırmak sularının kimyasal ve fiziksel özelliklerini olumsuz etkilemekte ve bu yönüyle sucul ortamın ekolojik dengesini bozmakta ve ortamdaki canlıların zarar görmesine neden olduğu tahmin edilmektedir. Bu çalışmada, mikroplastik kirliliğinin sularda araştırılması ve yakından incelenmesi için Kızılırmak Nehri'nde çalışmalar yapılmıştır.



2.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

2.1. Kavramlar ve Tanımlar

Mikroplastikler, büyük plastik parçaların hava olayları, su akımları ve ultraviyole ışınlar etkisiyle degradasyona (bozunmaya) uğraması sonucu oluşan 5 mm'den küçük polimerik küçük plastik taneciklerdir. Genel olarak boyutu her ne kadar mikro olsa da çevre ve canlı hayatı için tehlikesi makro boyutta olan parçacıklardır. Mikroplastik kavramı ve tanımı, plastiğin ilk üretildiği zamandan günümüze kadar yapılan çalışmalarla parçacık boyutuna göre değişmiştir.

Mikroplastik teriminin tarihsel gelişimi ilk olarak 1970'lerde Carpenter ve arkadaşları tarafından okyanuslardaki yüzen plastiklerin küçük parçacıklarıyla yaptıkları çalışmaların bilimsel literatüre bildirilmesiyle başlamıştır. İlerleyen zamanlarda (1987'de) Fowler ve Harper yaptıkları çalışmalarda ve yayınlarda, 1960'larda kuşlardaki küçük plastik parçalarını açıklayan çalışmaları anlatmaktadır. Mikroplastik teriminin ilk zamanlarda deniz atığı ile ilgili olarak kullanıldığı ise kesin bir ifade değildir. 1990 yılında ise Moloney ve arkadaşları aracılığıyla Güney Afrika plajlarında ve aynı yıl Deniz Eğitim Derneği'nin deniz suyunda yaptığı araştırma sonuçlarında küçük plastik parçalarının dağılımını ve kavramını tanımlanmaktadır [11].

Mikroplastiklerin tanımı için resmi bir boyut tanımı önerilmemiştir ancak mikroplastik terimi genel olarak görüldüğü üzere yalnızca bir mikroskop yardımıyla kolayca tanımlanabilen materyal anlamına gelmektedir. Mikroplastik kavramı resmi olarak tanımlanmamasına rağmen mikroplastiklerin tanımlanmasında milimetrik boyut aralığı kullanılmıştır. Günümüzde ise plastiklerin parçalanması sonucunda oluşarak mikro boyuta ulaşan plastiklerin, kirletici türü olarak bilinmesi yaygın bir niteleyici özellik değildir.

Güncel ve son çalışmalarda, dünyada "Mikroplastikler" için ilk düzenleyici tanım (6 Haziran 2020'de kabul edildi) ise şu şekildedir: Mikroplastikler, kimyasal katkı maddelerinin veya diğer maddelerin eklenebileceği katı polimerik malzemeler, en az üç

boyutu 1 nanometreden büyük ve 5.000 mikrometreden küçük parçacıklardır. Kimyasal olarak değiştirilmemiş (hidroliz dışında) doğası gereği türetilmiş polimerler hariç tutulmuştur. Avrupa ise bu mikroplastik tanımında biyobozunurları hariç tutar (Avrupa Kimyasallar Ajansı, 2019. Ek XV Kısıtlama Raporu Kısıtlama Önerisi: Kasıtlı Olarak Eklenen Mikroplastikler) [8].

Yapılan bir araştırmada şu tanım önerilmiştir: "Mikroplastikler, suda çözünemeyen, birincil (doğrudan) ya da ikincil (dolaylı) olarak üretim kaynaklı, normal veya düzensiz şekilli ve 1 µm – 5 mm aralığında değişen boyutlara sahip herhangi bir sentetik katı parçacık ya da polimerik matristir" [5]. Bu öneri, mikroplastiklerin tanımını yapan çoğu araştırmaya göre mikroplastikleri net bir şekilde açıklayarak özetleyen iyi bir tanımdır.

2.2. Mikroplastiklerin Genel Özellikleri

Mikroplastikler; şekil, renk, özgül ağırlık, boyut, kimyasal içeriği gibi özellikler bakımından değişebilen kompleks yapıları plastik parçalardır.

Bir plastik, insanların faaliyetleriyle ve/veya çevresel etkilerle parçalanarak milyonlarca mikroplastik parçacıklarına dönüşebilmektedir. Mikroplastikler foto-oksidatif parçalanma, hidrofobik yüzey, kirleticileri taşıma potansiyelleri, yüzücülük, kalıcı organik kirletici absorplayabilmeleri gibi niteliklerinden dolayı su kaynaklarında büyük tehlike yaratmaktadır [6].

Deniz mikroplastiklerinin bentik deniz organizmaları üzerinde olumsuz etkilere neden olabileceği, kalıcı organik kirleticilerin (KOK) biyoakümüleyonunu artırabileceği ve besin zincirinde insanlara geçerek birçok yan etkiye (örneğin kanser ve üreme kabiliyetinde azalma) neden olma potansiyeline sahip olduğu tahmin edilmektedir [6, 11, 12]. KOK'lar, çevrede bozunmaya dirençli, insan yapımı tehlikeli kimyasallardır. Poliklorlu bifeniller (PCB'ler), farklı türden organoklorlu pestisitler ve bromlu alev geciktiriciler gibi maddeler KOK'lardır. Temelde lipofilik olduklarından, yani sıvı ve katı yağlara yüksek afiniteye sahip olduklarından KOK'lar deniz organizmalarının yağ dokularında birikmektedir [6]. Böylece mikroplastikler toksik etkiye neden olabilmektedir.

Mikroplastiklerin etkilerinin daha iyi anlaşılması için, çoğu çalışmada deniz ortamındaki miktarlarını ölçmeye odaklanılmıştır. Büyük ölçekli mekansal ve zamansal karşılaştırmaların temel sorunlarından biri, mikroplastikleri tanımlamak ve ölçmek için çok çeşitli yaklaşımların kullanılmış olmasıdır [13].

Mikrokirleticilerin bir kısmı ve kalıcı organik kirleticiler, bozunmadıkları, biyolojik olarak çözülmedikleri ve parçalanmadıkları için çevrede kalıcı etki gösterebilen insan kaynaklı zararlı ve toksik maddelerdir [6]. Çalışmalar polietilen ve polietilen tereftalat gibi farklı plastik türlerinin yüzeylerinin, deniz suyuna daldırıldıklarında heterotrofik bakterilerin hızla kolonize olduğunu ve bu organizmaların çevredeki deniz suyundakilerden daha uzun süre hayatta kalabildiklerini göstermiştir [14].

Plastiklerin üretimi ve işlenmesi sırasında, ürünlerin özelliklerini ve uygulamalarını iyileştirmek için çeşitli kimyasallar ve katkı maddeleri kullanılmaktadır. Mikroplastikler ve daha büyük makroplastik maddeler, üretim sırasında eklenen plastikleştiriciler, antioksidanlar, alev geciktiriciler, ultraviyole stabilizatörler, yağlayıcılar ve renklendiriciler gibi maddelerin veya çevreden biriken kimyasalların bir karışımından oluşmaktadır [15]. Doğal çevreye daha uzun süre maruz kaldıktan sonra, bu kimyasallar ve katkı maddeleri yavaş salınım/desorpsiyon ve fotokimyasal bozunma yoluyla toprak ortamına sızarak toprağın mikrobiyal çeşitliliği ve işlevi üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır [16]. Bu nedenle, mikroplastik kirliliği ile ilişkili durumlarda bu kimyasalların toksisitesi dikkate alınmalı ve dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir. Tablo 2.1’de plastik içeriğinde bulunabilen katkı maddeleri ve kimyasal türleriyle birlikte fonksiyonları da verilmiştir.

Tablo 2.1 Plastiklerin imalatında ve işlenmesinde kullanılan katkı maddeleri ve kimyasallar [16]

Katkı maddeleri ve kimyasal türleri	Örnek	İşlev
Yağlayıcılar	Molibden disülfür ve grafit	Sıkma şişelerinde ve elyafta kullanılan esnek plastik üretimi
Alev Geciktiriciler	Dekabromodifenil eter	Kültür mermeri ve kablo kaplamalarının güvenlik endeksini iyileştirir
Antioksidanlar	Tris fosfit, Pentaeritritol tetrakis	Hava koşullarına karşı dirençle başa çıkan ve plastik işlemede faydalıdır
Antistatik	Gliserol monostearat, İndiyum kalay oksit	Statik elektrik çekimi oluşturur (toz toplanmasını azaltma).
Köpürtücü Maddeler	İzosiyanat, Kloroflorokarbonlar	Yapı tahtası, polistiren bardak ve poliüretan halı altlığı üretiminde kullanışlıdır.
Antimikrobiyaller	2,4-dikloro-6-(3,5-dikloro-2-hidroksifenil)sülfanilfenol	Duvar kaplamaları (Bithionol) ve duş perdesi imalatında kullanılır.
Plastikleştiriciler	Bis(2-etilheksil) ftalat	Işıktan yavaş ayrışması nedeniyle oluklar, tel yalıtımı ve döşemelerde kullanılır.
Renklendiriciler	Sudan lekesi, Diarylde pigmenti	Plastik ürünlerin renklendirilmesinde faydalıdır.

Mikroplastiklerin fizikokimyasal özellikleri genel olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Lipofiliktirler; bu yüzden birçok canlının yağ dokularında bulunurlar.
- Hidrofobik yüzeyleri vardır.
- Biyolojik ve/veya termal olarak parçalanabilmektedirler.
- Yüzücü maddelerdir.
- Kirleticileri taşıma potansiyelleri vardır.
- UV foto-oksidatif bozunabilmektedirler.
- DDT gibi kirleticileri adsorplayabilmektedirler.
- Termooksidatif özellikleri vardır.
- Biyofilm oluşturabilmektedirler.
- Plastikleştirici, antioksidan, alev geciktiriciler ve anti-statik ajanlar gibi katkı maddelerini bulundurabilmektedirler.
- Suda çözünmemektedirler.
- Ekotoksikolojiktirler (Zararlı bileşenlerin besin zinciri yoluyla bir canlıdan diğer

bir üstteki canlıya aktarılması).

2.3. Mikroplastiklerin Sınıflandırılması

Plastik hangi tür malzemedен elde edilmişse, kullanımı sonrası çeşitli etkenlerle oluşabilecek mikroplastik de o özellikleri taşıyan ve kullanım amacına göre farklı aşınmalara uğramış olan katı polimerik parçacıklar şeklinde olacaktır [6]. Mikroplastikler; boyut, renk, plastik ve şekil türüne göre sınıflandırılabilir. Mikroplastiklerin farklı özellikleri temel alınarak yapılmış olan bir sınıflandırma Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Mikroplastiklerin sınıflandırılması [6]

Kategoriler	Mikroplastikler
Kaynakları	Tüketici ürünü parçaları (örneğin balık ağı) ve ham endüstriyel peletler...
Tipi	Plastik parçalar, peletler, filamentler, plastik filmler, köpüklü plastik, granüller ve strafolar...
Şekilleri	Peletler için: silindirik, diskler, düz, oval, kürecikler... Parçalar için: yuvarlak, az yuvarlak, köşeli... Genel: pürüzlü, düzensiz (şekil yok), uzun, bozulmuş, kırık kenarlı...
Aşınma durumu	Yeni-taze, aşındırılmamış, konkoidal kırıklar, ayrılmış, oyuklu, pürüzsüz yüzey, pürüzlü parçacıklar, doğrusal kırıklar, bozunmuş ve çok bozunmuş olan plastik parçacıklar...
Renk	Şeffaf, pigmentasyon, turuncu, kristal, ten rengi, beyaz, berrak, kırmızı, siyah, mavi, pembe, gri, yeşil, kahverengi, opak, krem, sarı...

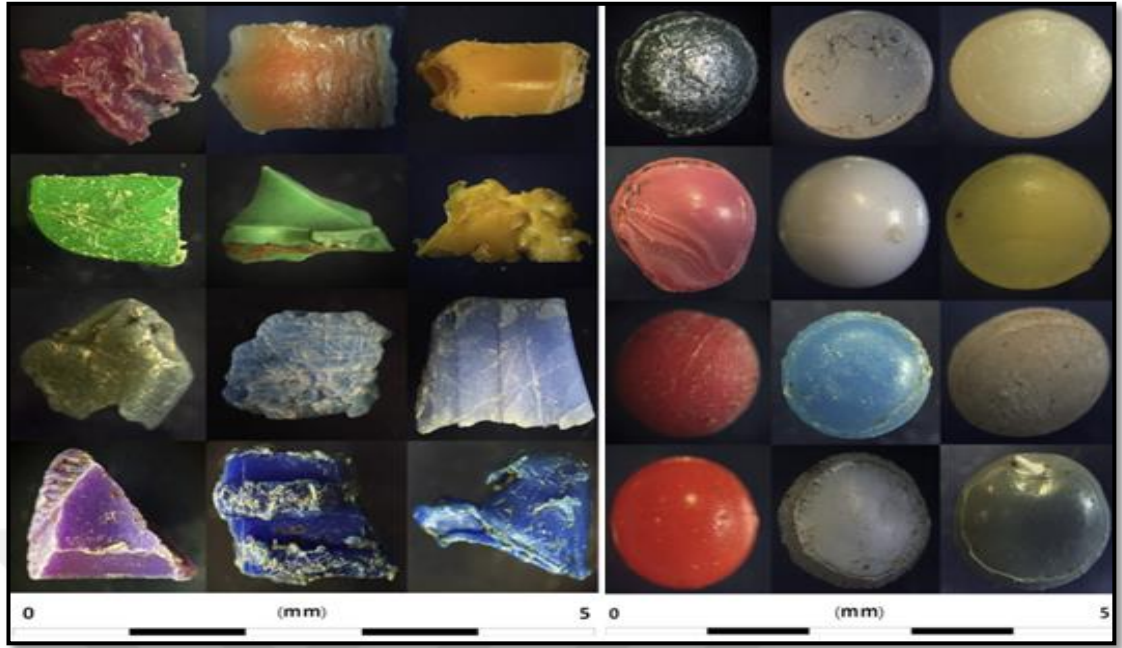
2.3.1 Mikroplastiklerin renk olarak sınıflandırılması

Mikroplastikler, renk niteliklerini genellikle üretildiği plastik ürününün renginden almaktadır. Ancak, atmosfer koşullarına ve çevresel etkenlere bağlı olarak mikroplastik rengi değişebilmektedir [17]. Plastiklerin çoğu genel olarak renksizdir. Bu yüzden plastik üretiminde istenilen rengi elde etmek için renk verici katkı maddeler kullanılmaktadır. Özellikle şeffaf, renksiz özellikte olan veya mikro boyuta kadar parçalanmış olan plastikler su kaynaklarında görünmez plastik atıkları oluşturmaktadır [6]. Katkı maddeleri bu plastiklerin yaklaşık %1’lik kısmını oluşturmaktadır. Fakat bazı plastik türlerinde

renklendiriciler %10'lara kadar bulunabilmektedirler [18]. Renk özelliği mikroplastiklerin büyük miktarda parçacıklar veya döküntüler içerisinde ayırt edilebilmesini kolaylaştırmaktadır. Son 10 yılda yapılan bazı çalışmalar renk parametresinin aynı zamanda mikroplastiklerin kimyasal içeriği/yapısı ve türü hakkında bilgi verdiğini göstermektedir. Örneğin, sarı ve siyah mikroplastiklerin en yüksek kirletici seviyelerine sahip olduğu tespit edilmiştir [19]. Bazı araştırmalarda ise şeffaf renge sahip olan peletlerin polipropilen olarak tespiti yapılırken beyaz renkli peletler polietilen olarak tanımlanmaktadır [13].

Her renkte varlığından söz edilebilmekte olan mikroplastikler, deniz organizmaları için cazibelidir, çünkü özel renkteki avlarının rengine benzeyebilmektedir ve böylece deniz canlıları tarafından yutulmaktadır [20]. Bu nedenle, bilimsel araştırmalarda suda yaşayan canlıların mikroplastikleri tüketme potansiyellerini tespit edebilmek için renk bilgisi ve parametresi kullanılmaktadır [17].

Mikroplastikler çok çeşitli renkler gösterdiğinden (şekil 2.1) bu farklı renkler, çevreden geri kazanılan mikroplastikleri sınıflandırmak için standartlaştırılmış sistemin bir parçası olarak kullanılmaktadır [19]. Renk sınıflandırması bazen mikroplastikliğin kaynağı hakkında da bilgi verebilmektedir. Örneğin Chinfak ve diğ. (2021); Tapi Phumduang Nehri sisteminden ve Bandon Körfezi'nden su ve tortu örnekleri toplamıştır ve nehir sisteminde körfezdekinden daha fazla mikroplastik bulunduğunu, mavi ve beyaz parçacıkların en sık gözlenen iki renk olduğunu tespit etmiştir. Bu sonuçla nehir deşarjının Bandon Körfezi'ndeki önemli bir mikroplastik kaynağı olduğu ve körfezdeki balıkçılık ve deniz ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerinin ise daha düşük katkıları olduğu varsayılmıştır [21].



Şekil 2.1 Farklı mikroplastik renkleri (0.5 mm ölçekte) [19]

2.3.2 Mikroplastiklerin şekil olarak sınıflandırılması

Mikroplastiklerin şekilleri çevresel bir ortamda kalma süresine bağlı olduğu kadar maruz kaldığı parçalanma işlemlerine de bağlı olarak değişmektedir [22]. Şekil, renk, yüzey dokusu gibi özellikler ve mikroplastikleri diğer parçacıklardan ayırt etmeye katkıda bulunabilecek diğer özellikler, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, numunenin diğer bileşenlerinden ayrılmaları için kullanılmaktadır [23].



Şekil 2.2 a) Yüzey sularında bulunan tipik mikroplastikler ve b) tortu (sediment) numuneleri; c) mikroplastiklerin morfolojisi [23]

Mikroplastikler çok çeşitli şekillere sahiptirler. Bu mikroplastikler silindirik, düz, oval, yuvarlak, uzun, düzensiz, pürüzlü, kırık kenarlı, levha, kırıntı, çubuk ve köpük şeklinde olabilmektedir.

Mikroplastik parçacıklar, bilindiği üzere makro boyuttaki plastik parçacıkların bozulması sonucu oluşmaktadır ve bu nedenle belirli bir şekilleri ve renkleri yoktur denilebilmektedir. Ancak genel olarak bakıldığında oval, film, küresel ve düzensiz şekilde olabilmektedir. Plastik içeren sentetik kumaşların parçaları lif şeklinde olmakla beraber kişisel bakım ürünleri veya kozmetik için üretilen mikroplastikler genellikle küre şeklindedir [20]. Schmid ve diğ. (2018); Amazon Nehri ağzındaki balıklarda yapmış oldukları çalışmada 22 familyadan 46 türü temsil eden toplam 189 balık örneği, karides balıkçılığında hedef dışı avlardan örnekler almışlardır. En çok rastlanan mikroplastik partiküller, 0.38 ila 4.16 mm arasında değişen peletler (%97,4), levhalar (%1.3), parçalar (%0,4) ve iplikler (%0,9) olarak tespit edilmiştir [24].

2.3.3 Mikroplastiklerin boyut olarak sınıflandırılması

Ortamdaki plastik atıklar fiziksel, kimyasal ve diğer işlemlerle minik plastiklere parçalanmaktadır. Bu küçük boyutlu parçacıklar çevrede birikmeye, taşınmaya ve dönüşmeye eğilimlidir ve boyutları 5 mm'den küçük olduğunda mikroplastik olarak tanımlanabilmektedir.

Mikroplastik literatüründe farklı alt ve üst boyut sınırları kullanıldığından, dünya çapında mikroplastik oluşumu ve dağılımı hakkında çok miktarda veri kaybolmaktadır. Yine de, "mikroplastik" teriminin bu tutarsız kullanımı, küçük mikroplastikler (< 1 mm) ve büyük mikroplastikler (1 – 5 mm) arasında ayırım yapmak için daha kapsamlı bir sınıflandırma getirilerek kolayca ele alınabilmektedir [25]. Bazı ülkelerde mikroplastik tanımı farklı sınıflandırmayla yapılmıştır. Kanada'da plastik parçacık terimi farklı fonksiyonlara sahip, şekilsiz, oyuk ve çözünmüş katı parçacıklar olarak ifade edilmiştir. Fransa'nın mikroplastik tanımında "tam olarak bir boyut aralığı" belirlenmemiştir. Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi, deniz atıklarının boyutlarına göre -5mm'nin üstünde veya altında bir değer- makro ve mikro tanımı ile bir sınıflandırma yapmaktadır [17].

Mikroplastik teriminin yalnızca 1 mm'den küçük plastik parçacıkları içerdiği son yıllarda öne sürülmektedir. Bu sınıflandırmaya göre 1 mm'nin üzerindeki plastik parçacıklar "mezoplastik" olarak adlandırılmaktadır (>1 ila ≤5 mm). Mezoplastik boyutunun üzerindeki plastikler ise makro plastiklerdir ve boyutları 5 mm'nin üzerindedir [26].

2.3.4 Mikroplastiklerin tür olarak sınıflandırılması

Günümüze kadar yaygın olarak kullanılan plastikler, küresel plastik üretiminin yaklaşık %90'ını içeren polietilen (PE), polivinil klorür (PVC), polipropilen (PP), polistiren (PS) ve PET denilen polietilenentereftalattır [27]. Denizel ortamda çoğunlukla görülen mikroplastik polimer tipleri de genel olarak bunları içermektedir.

Mikroplastiklerin su kolonunda yüzmeleri veya batmaları yoğunlukları hakkında bilgi vermektedir. Polipropilen ve polietilen su yüzeyinde uzun zaman kalıp rüzgarlarla veya akıntılarla kaynağından uzak mesafelere taşınabilirken, PS, PA, PET ve PVC gibi

polimerler suyun yoğunluğundan daha fazla yoğunluğa sahip oldukları için hem batma hem de bentik bölgede birikme eğilimindedirler. Ancak mikroplastiklerin özgül ağırlıkları ve yapısal özellikleri çevresel şartlarla değişikliğe de uğrayabilmektedir [28].

Pan ve diğ. (2020); Çin'in Zhangjiang Nehri'nde yapmış oldukları çalışmada toplu örnekleme yöntemi kullanılarak bir nehir havzasından su örnekleri toplamışlar ve alınan numunelerde stereomikroskopi ve mikro-Raman spektroskopisi analizi yaparak PP, PE, PS, PES, PET ve PE-PP karışımları dahil olmak üzere toplam altı mikroplastik polimer türü tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda mikroplastığın en baskın türlerinin PE ve PP polimeri olduğu bulunmuştur [29].

Tablo 2.3 Plastiklerin türleri, üretim hacmi ve olası kullanımları [20, 27]

Plastik Türleri	Yoğunlukları (g/cm ³)	Üretim Hacminin %'si	Kullanıldığı Alanlar	Özellik
Düşük Yoğunluklu Polietilen	0.91–0.93	21	Taşıma Çantası, Pipet, Şişe	Esnek, yumuşak, buruşmaz, kolay kesilebilir.
Yüksek Yoğunluklu Polietilen	0.94	17	Kutu, Boru	Düşük maliyetli, kolay şekillenebilir, kırılmaya dayanıklıdır.
Polipropilen	0.83–0.85	24	Şişe Kapağı	Orta derecede sertliğe ve parlaklığa sahiptir, Isıya ve kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır.
Polistiren	1.05	6	Elektronik Kasa, Isı Yalıtım Malzemesi, Ambalaj	Berrak, sert ve kırılıgandır. Erime noktası da nispeten çok düşüktür.
Polietilenentereftalat	1.37	7	Şişeler	Çok hafiftir, serttir ve geri dönüşümü kolaydır.
Polivinil Klorür	1.38	19	Folyo Boru	Esnek ve sert olarak iki türlü malzemesi vardır.

2.4 Mikroplastiklerin Canlılara Etkisi

2.4.1 Besin zinciri yoluyla alınan mikroplastikler ve insan sağlığına etkisi

Plastikten elde edilen kimyasalların balık ve kabuklu deniz ürünleri içeren yiyecekler yoluyla insanlara geçebileceği endişesi vardır ve bu da insan sağlığı üzerindeki sonuçlarla ilgili önemli soruları gündeme getirmektedir. Bir trofik seviyeden diğerine transfer olan mikroplastikler, özellikle besin zincirinin kontaminasyonu yoluyla insan sağlığını etkileyebilmektedir.

Mikroplastiklerin taşıdığı KOK'lar, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve ağır metaller dahil olmak üzere bu kimyasallar, besin zinciri boyunca biyomagnifikasyona ile deniz organizmaları tarafından aktarılabilen ve birikebilmektedir [30]. Dolayısıyla mikroplastiklerin biyolojik olarak birikmesi (biyoakümülyasyon) ve besin zincirinin üst kademelerine doğru büyümesi, gıda güvenliği için ciddi bir sorun teşkil etmektedir [31].

Hem üretimleri sırasında kullanılan toksik veya zararlı kimyasal bileşikler, hem de mevcut oldukları çevredeki kalıcı mikro kirleticileri tutma kapasiteleri nedeniyle mikro boyuttaki bu plastikler, canlı tarafından sindirimi gerçekleşmeden atılsa bile enzimatik aktiviteyle beraber bu bileşikler canlıya geçerek toksik etkilere neden olmakta, besin zinciri içinde artarak insan vücuduna kadar ilerleyebilmektedir [28].

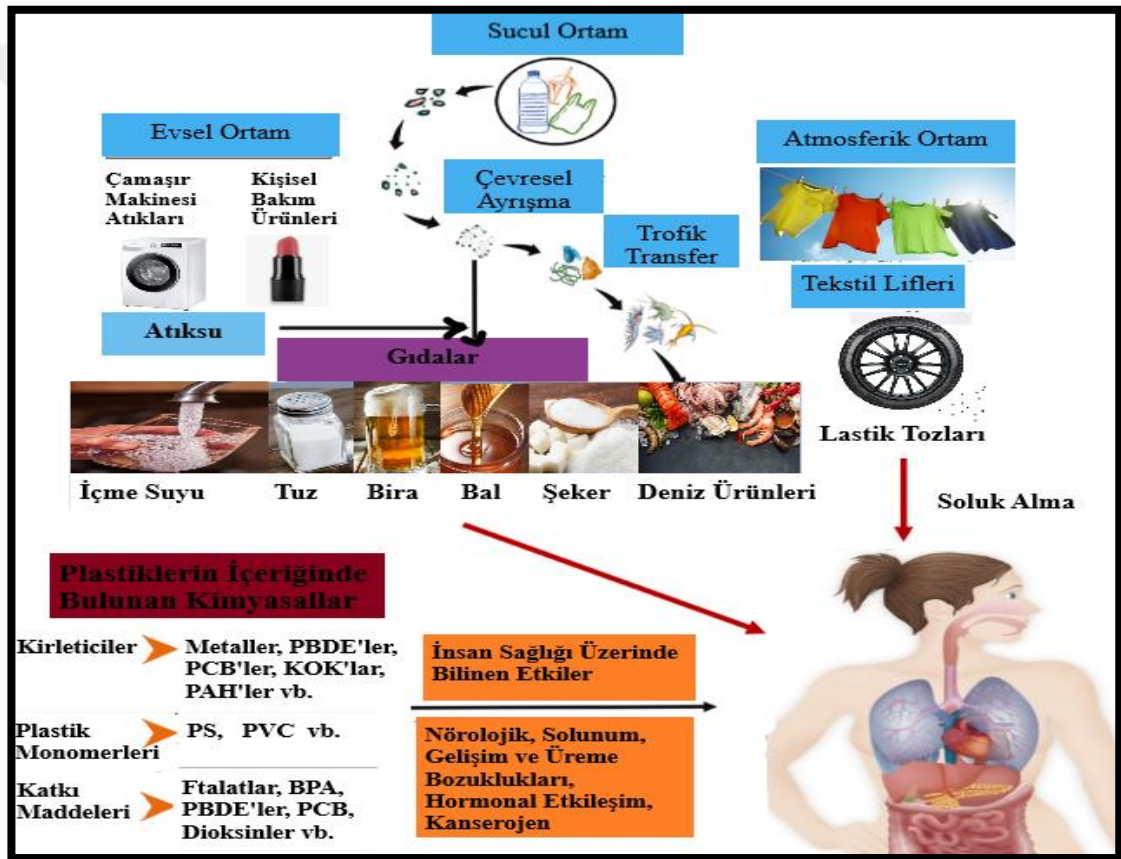
Kontaminasyonun yaygınlığına rağmen, mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda sınırlı araştırma yapılmıştır. Bugüne kadar yapılan çoğu çalışmada model organizmalar üzerindeki etkiler analiz edilerek, insan sağlığı üzerindeki olası etkiler ekstrapolasyon ile tahmin edilmiştir [2]. Mikroplastiklerle kontamine olmuş içme suyu veya yiyeceklerin ağızdan tüketilmesi, insan maruziyetinin birincil yoludur [34]. Bununla birlikte mikroplastiklere deri yoluyla maruziyet, mikro boncuk içeren ürünlerin cilde uygulanması yoluyla da meydana gelebilmektedir [33]. Ayrıca solunum, bu plastik parçacıkların insan vücuduna girmesinin başka bir yoludur. [35]. İnsanların kabuklu deniz ürünleri, balık ve deniz tuzu dahil olmak üzere deniz ürünleri tüketimi yoluyla mikroplastiklere maruz kaldıkları açıktır. Deniz ürünlerine ek olarak, insanlar; içme suyu,

banyo suları, havadan soluma ve/veya kozmetiklerle aktif temas gibi diğer yollarla da mikroplastiklere maruz kalabilmektedirler. Yenilen besinlerde de maruziyet söz konusudur; bal, içme suyu, bira, şeker ve sofr tuzu gibi çeşitli karasal gıda maddelerinde mikroplastikler tespit edilmiştir [4].

Biyofilmler; mikroorganizmaların kara, su veya hava yoluyla çevreye yayılmasını ve taşınmasını kolaylaştırarak plastiklerin hastalık araçları haline gelmesini sağlamaktadır [33]. Mikroplastikler ve içerdiği mikroorganizmaların, bağırsak mikrobiyotası arasındaki etkileşimlerinin sağlık sorunlarına yol açabileceğini gösteren bazı çalışmalar vardır [36]. Mikroplastiklerde plastiğin üretimden kaynaklı kimyasal katkı maddelerinin olması ve besin zinciriyle canlılara sızmasının insanlar üzerinde toksik etkilere neden olabileceği görülmüştür. Örneğin, BPA (Bisfenol A) ve ftalatlar gibi plastikleştirici katkı maddeleri üzerine yapılan çok sayıda araştırma, bu zararlı maddelerin kanserojeniz dahil olmak üzere insan üremesi ve büyümesi üzerinde potansiyel olarak olumsuz sağlık etkilerine neden olabilecek endokrin bozucu kimyasallar olduğunu göstermiştir [34]. Dünya çapında kullanılan plastikleştiricilerin %80'inden fazlası ftalatlardır [2]. Özellikle çocuklarda ftalat düzeyi ile astım ve alerji oluşumu arasında bir ilişki olduğunu gösteren çalışmalar vardır [37]. Şekil 2.3'te mikroplastiklerin insan yaşamına giriş yolları, içerikleri ve insan sağlığına etkileri gösterilmiştir.

Mikroplastikler, çevresel kirleticilerin fiziksel stresörleri veya vektörleri olarak hareket ederek insan sağlığını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilmektedir ve insanlarda hem fiziksel hem de kimyasal stresörler olarak hareket ederek sindirim, solunum ve dolaşım sistemlerine girebilmektedir [38]. Mikroplastikleri bünyesine alan bazı canlıların sindirim sistemlerinde mikro parçacıklara rastlanıldığı gibi bu canlılarda parçacıkların dolaşım sistemleri ve farklı dokularda rastlanıldığına yönelik çalışmalar vardır [11]. Yüksek konsantrasyonlarda mikroplastiklere maruz kalan insanlarda yapılan karşılıklı çalışmalardan, model hayvan ve hücre kültürü deneylerinden elde edilen sonuçlar, mikroplastiklerin etkilerinin bağışıklık ve stres tepkilerini tetiklemeyi ve üreme ve gelişmeyi tetiklemeyi içerebileceğini öne sürmektedir [2]. Yapılan bir çalışmada farklı ülkelerden sağlıklı sekiz kişinin dışkı örneğinden 10 g insan dışkısı başına ortalama 20 adet plastik parçacığı mikroplastik tespit edilmiştir. Genel olarak, en çok plastik gıda ambalajlarının ve sentetik giysilerin ortak bir bileşeni olan polietilen tereftalat ve

polipropilen olmak üzere toplam 9 plastik türü tespit edilmiştir [39]. Bazı araştırmacılar, mikroplastiklerin makrofajlar veya kan damarlarının endotel hücreleri tarafından potansiyel olarak hücrelere içselleştirilebileceğini teorileştirmiştir [40]. Başka bir çalışmada gönüllü kadınlardan toplanan altı insan plasentasında mikroplastiklerin varlığı incelenmiştir. Toplamda, 4 plasentada küresel veya düzensiz şekilli 12 mikroplastik fragman (5 ila 10 µm boyutunda) bulunmuştur. Ayrıca morfoloji ve kimyasal bileşim açısından karakterize edilen mikroplastik partiküllerin tümü pigmentli, üç tanesi lekeli polipropilen ve bir termoplastik polimer olarak tanımlanmıştır [41].



Şekil 2.3 Mikroplastiklerin insan yaşamına giriş noktaları ve etkisi

Çevresel maruziyet araştırılmamış olsa da, havadaki mikroplastiklerin endüstri çalışanlarında hastalığa neden olduğu bilinmektedir [35]. Örneğin VC (Vinil klorür) ve PVC (Polivinil klorür) sektöründe 25 yıl boyunca çalışan ve PVC tozuna maruz kalan bir işçinin, kronik sabah öksürüğü, halsizlik, nefes darlığı, radyolojik yaygın mikronodüler opasiteler, hayati kapasitede hafif azalma, makrofajlarla yaygın infiltrasyon ve

pnömokonyoz gibi rahatsızlıkları ortaya çıkmıştır [42]. 20 yıldan fazla maruz kalan işçilerin ise %48,6'sında PVC'ye daha uzun süre maruz kalmaya bağlı olarak alt ve orta akciğer alanlarında radyolojik lineer retiküler veya nodüler opasiteler ortaya çıkmıştır [43].

İlişkili araştırmalar, plastik elyafların solunmasını solunum yolu hastalıkları, iltihaplanma ve oksidatif stresle ilişkilendirerek, giyim endüstrisinde sentetik elyafların artan hakimiyeti göz önüne alındığında, mikro elyafların solunmasını önemli bir endişe unsuru haline getirmektedir. Bununla birlikte, insan vücudunda biriken, solunan ve yutulan mikroplastiklerin gerçek konsantrasyonları henüz bilinmemektedir [2].

2.4.2 Mikroplastiklerin toprağa ve toprak biyotasına etkisi

Topraklar, mikroplastikler için önemli bir uzun vadeli havuz görevi görebilmektedir [44]. Karasal ekosisteme ulaştıktan sonra birçok sentetik polimerin bozunma süresi uzar ve bu nedenle toprakta uzun süre kalmaları muhtemeldir [45]. Tarım toprakları, mikroplastikleri esas olarak çamur bertarafından ve kompost (organik) gübrelemenin araziye uygulanmasından, plastik malçlamadan ve atıksu ile sulamadan alabilmektedir. Önceki çalışmalar, atıksudan gelen mikroplastiklerin %90'a kadarının çamurda tutulacağını ve birikeceğini ve çamurdaki mikroplastiklerin konsantrasyonlarının 1500 ila 56.400 partikül/kg aralığında olduğunu göstermektedir. Atmosferik çökeltme ise düzenli gübreleme ve sulamanın gerekli olmadığı orman, kentsel ve endüstriyel topraklar için önemli bir kaynak olabilmektedir. Bununla birlikte gübre, su ve havadaki mikroplastik konsantrasyonları oldukça değişken olabileceğinden ve kaynak çalışmaları erken bir aşamada olduğundan, farklı arazi kullanımlarındaki topraklar için muhtemelen önemli kaynakların kesin rolü hala belirsizdir [46]. Bazı çalışmalar, mikroplastiklerin toprak organizmalarını etkileyebileceğini, örneğin mikrobiyomun bileşimini bozabileceğini ve toprak kolembolanlarının izotopik bileşimini değiştirebileceğini göstermiştir [47].

Bazı mevcut veriler, bazı endüstriyel alanların mikroplastiklerle yoğun şekilde kirlenmiş olabileceğini düşündürmektedir. Örneğin, yapılan bir çalışmada Avustralya'da bir sanayi bölgesinin yakınındaki toprakların %0.03-6.7 oranında mikroplastik (esas olarak PVC) içerdiğini bulunmuştur [48]. Yine farklı bir çalışmada PP partiküllerinin toprak

mikrobiyal aktivitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu rapor edilirken, PA, PE ve PS partiküllerinin olumsuz bir etki gösterdiği bildirilmiştir. Mikroplastiklerin toprak hayvanlarının sağlığı üzerindeki etkileri hakkında bilgiler ise, su hayvanlarının çok gerisinde kalmakla birlikte yapılan çalışmalar çok az sayıdadır [46].

Oligochaeta (toprak ve tatlısu halkalı solucanları) üzerinde yapılan çalışmalar, mikroplastiklerin etkisinin büyük ölçüde maruz kalma düzeyine bağlı olduğunu göstermektedir. Örneğin, Zhu ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, PS nanoplastiklerinin toprak oligochaete *Enchytraeus crypticus*'un (toprak solucanı) ağırlığı üzerinde konsantrasyona bağlı bir etkisi olduğunu bildirmektedir [49]. Yine benzer bir çalışmada düşük yoğunluklu PE mikroplastiklerinin solucan *Eisenia Andrei*'nin (kırmızı toprak solucanı) hayatta kalması ve büyümesi üzerinde hiçbir etki göstermemesine rağmen, en düşük maruziyet seviyesinde bile doku hasarı ve bağışıklık sistemi tepkilerinin gözlemlendiği bildirilmiştir [50]. Farklı plastiklerde yapılan araştırmaya göre nişasta bazlı biyolojik olarak parçalanabilen filmlerden elde edilen mikroplastiklerin, geleneksel düşük yoğunluklu PE filmlere göre solucan büyümesi üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni muhtemelen biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerin esas olarak PE'den daha toksik olabilen PET ve polibütilen tereftalattan oluşması olmuştur [51].

Mikroplastikler toprak biyotasında vektör etkisi bırakabilmektedir. Örneğin Hodson ve arkadaşları yaptıkları araştırmalarda partikül plastiklerin topraktaki metalleri emebileceğini ve bu plastiklerin solucanlar tarafından yutulabileceğini bildirmiştir. Ayrıca çalışma, partiküllü plastiklerin, toprak omurgasızlarında metal maruziyeti için vektörler olarak hareket edebileceğini ortaya koymuştur [52].

Çalışmalardan elde edilen sonuçlar, mikroplastiklerin okyanusta gözlemlendikleri gibi toprakta her yerde bulunan ve kalıcı kirleticiler olduğunu ve mikroplastiklerin toprak organizmalarının hayatta kalmasını, büyümesini, üremesini, beslenmesini ve bağışıklık sistemini etkileyebileceğini doğrulama eğilimindedir [46].

2.4.2.1 Mikroplastiklerin bitkilere etkisi

Verimli ve sağlıklı topraklar, iklim değişikliğiyle mücadele etmek, sürdürülebilir küresel gıda güvenliğini sağlamak ve toprak biyoçeşitliliğini korumak için hayati öneme sahiptir. Bitkiler, verimli bir toprak ekosisteminin korunmasında ve devamlılığında yaşamsal bir rol oynamaktadır.

Mikroplastik haline gelen plastik ürünlere alev geciktiriciler ve plastikleştiriciler gibi kapsamlı kimyasalların kasıtlı olarak eklenmesi toprak florası ve faunası için tehlikelere neden olabilmektedir [16]. Mikroplastiklerin toprak ortamında parçalanma, ayrışma ve aşınma yoluyla küçük parçalara ve nanoplastiklere dönüştümesi ve bu nanoplastik parçacıkların bitkiler tarafından alınması dahil olmak üzere daha fazla potansiyel çevresel tehditlere yol açabilmektedir [53]. Mikroplastiklerin yol açtığı bu kirliliğin; toprağın kütle yoğunluğundaki azalma, buharlaşma oranını artırarak bitkilerin büyümesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir [54]. Kısaca mikroplastikler, toprağın biyofiziksel özelliklerini etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, toprak abiyotik özelliklerindeki değişikliklerle başlayan ve toprak mikrobiyal toplulukları ve bitki özellikleri dahil olmak üzere toprak-bitki etkileşimlerinin çeşitli bileşenleri arasında yayılan, karasal ekosistemlerin temel seviyelerindeki olaylar dizisi hakkında çok az şey bilinmektedir. Topraktaki mikroplastikler bitki biyokütlesini, doku element bileşimini, kök özelliklerini ve toprak mikrobiyal aktivitelerini önemli ölçüde değiştirebilmektedir [55].

Mikroplastiklerin varlığı, bitki kökleri tarafından su ve besinlerin emilimini engellemektedir. Toprak solucanları, siliatlar, akarlar ve nematodlar gibi birçok mikroorganizma türü ve toprak mikro-hayvanları da biyosferi toksik etkilerden korumak için birlikte bozunmaya ve ara maddelerin kullanımına katılan bitki köklerinde bol miktarda bulunmaktadır [54].

Küçük boyutlu mikroplastiklerin hücre duvarı ve zar engellerini aşması muhtemeldir. Mikroplastiklerin bitki tarafından alınma olasılığı, floresan mikro boncukların yardımıyla araştırılabilmektedir [56]. Mikroplastiklerin bitkiler üzerindeki etkilerini araştırmak için çok az sayıda çalışma yapılmıştır. Bu araştırmalardan biri; toprağa biyolojik olarak parçalanabilen ve PE plastik parçacıkları %1 oranında ilave edildiğinde, her iki

mikroplastik türünün de buğdayın büyümesini bozduğunu ve birincisinin ikincisinden daha güçlü olumsuz etkilere sahip olduğunu gösteren bulunan çalışmadır. Bu çalışmada meyve biyokütlesi biyolojik olarak parçalanabilen plastik parçacıklardan olumsuz etkilenmiştir [57]. Bu sonuçlar, topraklardaki mikroplastik kirliliğinin toprak organizmaları üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu ve mikroplastiklerin karasal ekosistemlerdeki ekolojik tehlike riskini artırdığını göstermektedir.

2.4.3 Mikroplastiklerin mikroorganizmalara ve diğer hayvanlara etkisi

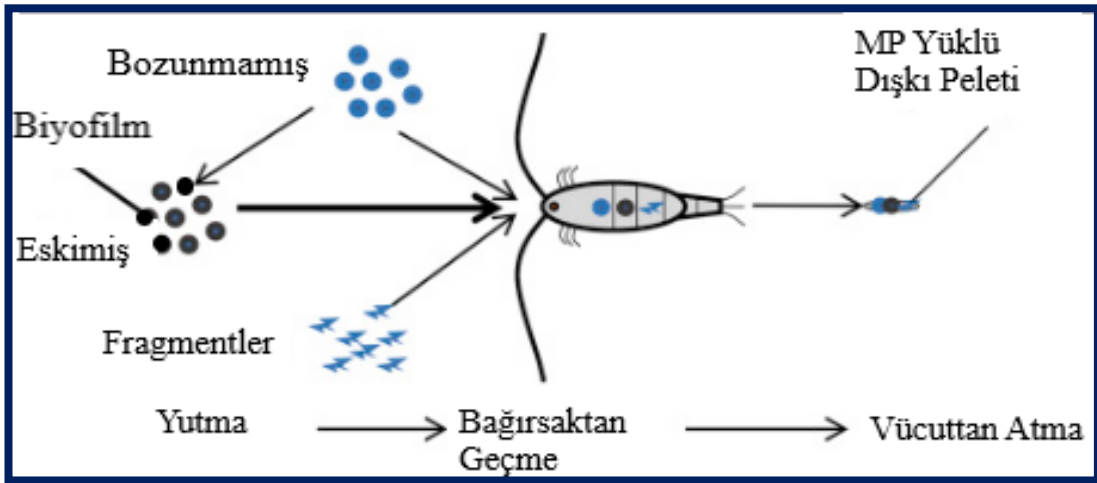
Mikroplastikler ve mikroorganizmalar arasındaki etkileşimle ilgili çalışmalar büyük ölçüde son yıllarda ortaya çıkmıştır. Çalışmalar, mikroplastiklerin denizlere ana giriş noktası olan nehirlerdeki mikroplastiklerin ayrı bir mikrobiyal habitat olduğunu ve benzersiz bakteri topluluklarının akış aşağı taşınması için yeni bir vektör olabileceğini göstermektedir [58].

Mikroplastiklerin zooplankton ve bazı bentonik hayvanlar gibi omurgasızlar, balık, amfibiler ve deniz kuşu gibi omurgalılar dahil olmak üzere deniz hayvanları üzerinde bir dizi olumsuz etkisi vardır [36]. Şimdiye kadar mikroplastik yayılımının sonuçlarına ilişkin araştırmaların çoğu kuşlara ve diğer hayvanlara odaklanılmıştır. Mikroplastikler suda yaşayan 114'ten fazla türde bulunmuştur ve bu mikro parçacıklarla ilgili çalışmalar üreme sistemlerine ve karaciğere potansiyel zararı göstermektedir [32].

Sert plastik yüzeyler, mikrobiyal kolonizasyon için mükemmel bir ortam sağlamaktadır. Bu nedenle, mikroplastiklerin yüksek yüzey alanı/hacim oranı ve hidrofobik yapısı, mikroorganizmaların çoğalması için uygun koşulları destekleyen uygun bir mikro-ortama izin vermektedir [34]. Bakterilerin deniz ortamında mikroplastik yüzeylerini hızla kolonize edebildiği ve mikrobiyal biyofilmler oluşturduğu bilinmektedir [2]. Bu bakteri kolonileri, birbirlerine ve canlı veya cansız yüzeylere yapışmalarını sağlayan proteinler salgılayarak biyofilmler oluşturabildikleri gibi mikroorganizmaların zorlu ortamlarda hayatta kalmasını sağlayan koruyucu bir niş yaratmaktadır [59]. Mikroplastiklerin bakteri ve mantar gibi bazı mikroorganizmalar üzerinde toksik etkileri vardır. Örneğin; polistiren partiküller maya hücreleri üzerinde öldürücü etkilere neden olabilmektedir [60]. Laboratuvar çalışmaları, mantarların, bakterilerin ve biyofilmlerin; polietilen, polistiren

ve polilaktik asit dahil olmak üzere çeşitli polimer türlerinin mikroplastiklerini parçalayabildiğini göstermektedir [61]. Yapılan araştırmalarda görülmektedir ki bakteriler ve mantarlar gibi toprak mikroorganizmaları, aşırı miktarda mikroplastığe maruz kalmaktan etkilenebilmektedir [16].

Plastik parçacıklar genellikle çift kabuklular gibi organizmaların sindirim kanallarında konsantre olarak bulunmaktadır [62]. Polistiren mikroplastiklere maruz kalmanın bağırsak mikrobiyotasını değiştirebileceğine, zebra balığı bağırsağında iltihaplanmaya ve farelerde hepatik lipid metabolizması bozukluğuna, bağırsak bariyeri işlev bozukluğuna yol açabileceğine dair bulgular vardır [36]. Potansiyel olarak patojenik *Vibrio* bakterisinin Kuzey ve Baltık Denizi'nden alınan su örneklerinde yüzen mikroplastiklerde mevcut olduğu bulunmuştur. Bu yüzden mikroplastiklerin patojenlerin yayılması için vektörler olarak işlev görebileceğini düşündürmektedir [63]. Yapılan bir çalışmada dört farklı zooplankton tarafından PS mikroplastiklerin alımı incelenmiş, PS boncuklar üç hafta boyunca doğal yerel deniz suyuna batırılarak bekletilmiştir. Sonuçlar, mikroplastiklerin yutulmasının plastiklerin boyutuyla ilişkili olduğunu, türler arası ve yaşam evreleri arasında farklılıklar olduğunu, farklı şekillere ve yüzey pürüzlülüğüne sahip mikroplastiklerin bağırsakta da farklı mekanik hasarlara sahip olduğunu göstermiştir [64]. Şekil 2.4'te zooplanktonların mikroplastikleri vücuduna alması temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Mikroplastığın zooplankton tarafından yutulması [64]

Mikroplastiklerin mikroalglerde fotosentezi ve büyümei azalttığı [65], zooplanktonların ve kum kurtlarının beslenme aktivitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu, biriktiği ve muhtemelen yengeçlerin solungaçları, midesi ve hepatopankreası üzerinde olumsuz etkilere neden olduğu ortaya çıkmıştır [66]. Yüzen mikroplastikler, okyanustaki fitoplanktonlar tarafından güneş ışığının emilmesini engelleyebilmektedir ve bu da deniz yaşamı için besin ve oksijen sağlama yeteneklerini etkilemektedir [67]. Sussarelli ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, mikroplastiklerin istiridye ölümlerini artırabileceğini, büyümei yavaşlatabileceğini, enerji emilimini etkileyebileceğini ve üreme kapasitesi ile yavru gelişimine müdahale edebileceğini tespit etmişlerdir [68]. Mikroplastiklerin amfibiler üzerindeki ise etkisi esas olarak üreme ve gelişme açısındandır [69]. Yapılan bir çalışmada hedef dışı avlanan 11 deniz kuşu türünden 8'inin midelerinde plastik parçacıklar bulunmuş ve deniz kuşlarında, hayatta kalmalarını ciddi şekilde tehdit eden farklı boyutlarda mikroplastikler olduğu gösterilmiştir [70]. Kısa kuyruklu yelkovan kuşları üzerinde yapılan bir araştırmadan elde edilen veriler, yutulan plastiklerden plastik türevli kimyasalların kuşların dokularına transfer olduğunu göstermiştir [71].

2.5 Mikroplastik Kaynakları

Uzak mesafelere taşınma özelliği olan mikroplastikler, doğal ve antropojenik faaliyetler aracılığı ile farklı kaynaklardan veya sektörlerden girerek ortamda bulunabilmektedir.

Nehir, kıyı şeridi, atmosfer, deniz gibi farklı giriş noktalarından içme suyundan yenilen besinlere kadar her ortama ulaşan mikroplastikleri karasal, sucul ve hava-atmosfer kaynaklı olarak ayırmak mümkündür. Karadaki kaynaklar; granül veya mikroboncuk olarak mikroplastik üretimi, tarımsal faaliyetler, inşaat faaliyetleri, karasal ulaşım, plajlardaki plastik atıkların bozunması gibi birçok faaliyetle ilgilidir ve bu mikroplastikler atmosfer, kıyı şeridi veya akış yoluyla sucul ortamlara girebilmektedir. Sucul kaynaklar ise denizcilik, balıkçılık, su ürünleri yetiştiriciliği, atık yönetimi gibi faaliyetlerdir [4]. Tablo 2.4'te mikroplastik kaynak faaliyetlerin nehirler başta olmak üzere giriş noktalarıyla birlikte içerdiği mikroplastik madde ve malzemelerinden bahsedilmektedir. Bu bölümde tanımlanan kullanım sektörlerine göre plastik ve mikroplastik kaynakları yer almaktadır.

Tablo 2.4 Mikroplastik kaynakları ve giriş noktaları [4]

Kategori	Kaynak Sektör	Açıklama	Giriş Noktaları
Üreticiler/ Dönüştürücüler	Plastik Üreticileri, İmalatçıları ve Geri Dönüştürücüler	Pelet ve parçalar	Nehirler, kıyı şeridi, atmosfer
Sektörel Tüketiciler	Tarım/Ziraat	Sera örtüleri, saksıları, borular, besin prilleri	Nehirler, kıyı şeridi, atmosfer
	Balıkçılık	Balıkçılık malzemeleri, paketleme	Nehirler, Kıyı şeridi (örneğin limanlar), deniz
	Su Ürünleri Yetiştiriciliği	Şamandıralar, halatlar, ağlar, PVC borular	Nehirler, Kıyı şeridi, deniz
	İnşaat	Genişletilmiş polistiren, paketleme	Nehirler, kıyı şeridi, atmosfer
	Karasal Toplu Taşıma	Peletler, lastikler, lastik tozu	Nehirler, kıyı şeridi, atmosfer
	Denizcilik/ Açık Deniz Endüstrisi	Boyalar, borular, giysiler, çeşitli, plastik püskürtme, kargo(yük)	Nehirler, deniz
	Turizm Sektörü	Tüketim malları, paketleme, mikro boncuklar, tekstil elyafları	Nehirler, kıyı şeridi, deniz
	Tekstil Endüstrisi	Elyaf lar	Nehirler, kıyı şeridi, atmosfer
	Spor	Sentetik çim	Nehirler, kıyı şeridi, atmosfer
Bireysel tüketiciler	Yiyecek İçecek Tek Kullanımlık Ambalajlama	Konteynerler, plastik torbalar, şişeler, kapaklar, bardaklar, tabaklar, pipetler, kaşıklar vb.	Nehirler ve kıyı şeridi
	Makyaj Malzemeleri & Kişisel Bakım Ürünleri	Mikro boncuklar, paketleme, diş fırçaları vb.	Nehirler, kıyı şeridi, deniz
	Tekstil ve Giyim	Lifler	Nehirler, kıyı şeridi, atmosfer, deniz
Atık Yönetimi	Katı atık	Yönetilmeyen veya kötü yönetilen atık bertarafı	Nehirler, kıyı şeridi, atmosfer
	Su ve Atık Su	Mikro boncuklar, parçalar, lifler	Nehirler ve kıyı şeridi

Karasal ve tatlı su ekosistemleri çalışmaları, mikroplastik kirlilik kaynaklarının aydınlatılması için özellikle yardımcı olmaya devam edecektir. Bunun nedeni, tatlı su ve karasal ekosistemlerin arıtılmış ve arıtılmamış kentsel, endüstriyel ve tarımsal atıkların doğrudan alıcıları olmasıdır. Topraklar, mikroplastikler için önemli bir uzun vadeli havuz görevi görebilmektedir. Bu, geniş tarım arazilerinde yaygın olarak uygulanan kanalizasyon çamurundaki plastik mikro liflerin ve parçaların mevcudiyeti ile gösterilmiştir [44]. Tarımın bir mikroplastik kaynağı olabileceği birçok potansiyel mekanizma vardır. Örneğin plastikler; tarımda sulama ve malç (toprağın üstüne örtülen naylon) olarak kullanılmaktadır. Bu malçlar güneşte aylarca tarlada bekletilir ve hasat veya sulama için çıkarıldıklarında kolayca mikroplastiklere dönüşebilirler. Tarımdan gelen akıntı bu materyali deniz ortamına taşıyabilmektedir. Tarımda kullanılan gübreler, maliyeti düşürmede ve su sistemlerine besin akışı seviyelerini azaltmada tarım için avantajlara sahiptir ancak mikroplastik kontaminasyonu şeklinde yeni bir çevresel etki

ortaya koymaktadır [4]. Bazı çalışmalarda ise tıbbi materyallerdeki mikroplastiklerin bazı canlı hayvanlardan elde edildiğini; bu hayvan bazlı, geleneksel tıbbi malzemelerde mikroplastiklerin yaygınlığı ve ayrıca karasal ortamlarda yaygın olan mikroplastiklerin kirliliğiyle birlikte gizli sağlık riskleri gösterilmektedir [72].

Genel olarak bakıldığında plastik atıklar sucul ortama karasal veya denizel kaynaklardan ulaşmaktadır. Okyanuslardaki ve denizel ortamlardaki plastik kirliliğinin %80'i karasal ortamlardan gelmekte olduğu tespit edilmiştir. Nehirler mikro boyuttaki plastikleri karalardan denizlere taşıyan en önemli su kaynaklarının başında gelmektedir. Aynı zamanda kıyı ve nehir vadileri boyunca kontrolsüz veya kaçak boşaltım, kıyı dolgu çalışmaları, yeterli olmayan ve verimsiz atık yönetimi, kanalizasyon, sızıntı suları, kentsel ve sanayi atıksu tesisleri, limanlar diğer önemli kaynaklar arasındadır [28].

Su ortamında bulunan mikro parçacıkların ana kaynağı makro boyuttaki plastik parçaların parçalanmaları sonucunda oluşan mikroplastikler olsa da farklı kullanım amaçları için endüstriyel olarak da mikroplastikler üretilmektedir [73]. Mikroplastikler, plajlar, yüzey suları, su sütunu ve derin deniz tabanı-sedimentler dahil olmak üzere iç sular, açık okyanus ve kapalı denizlerdeki birçok su habitatında tespit edilmiştir. Bazı saha araştırmalarında, yutulan mikroplastiklerin balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerine kaynak sağlanması mümkün olmuştur [15]. Sucul ortamlarda mikroplastik ve lif tipli mikroplastik birikimlerinin çamaşır veya giysilerin yıkanması sırasında giysilerden dökülen lifler olduğundan şüphelenilmektedir [74]. Evsel atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularındaki giysilerdeki liflerden ve kozmetik ürünlerinden kaynaklanan mikroplastiklerin sucul ekosistemdeki mikroplastik kirliliğinin en büyük kaynağı olduğu düşünülmektedir [75].

İçmesuyu arıtma tesisleriyle bağlantılı olan musluk suyu, insanlar üzerindeki potansiyel ekotoksikolojik etkilerine neden olan mikroplastik kirlilik sorunuyla karşı karşıyadır. Keza içmesuyu dağıtım sistemlerindeki plastik borular da önemli bir mikroplastik kaynağı olabilmektedir [76]. Atıksu arıtma tesislerinde (AAT), atıksudan uzaklaştırılan mikroplastikler için kapsamlı bir şekilde çalışılmış olsa da, içmesuyu arıtma tesisinde mikroplastik çalışması çok azdır [77].

Mikroplastiklerin havadaki mevcut durumu hakkında çok az çalışma olsa da bazı çalışmalar mikroplastiklerin atmosferdeki varlığını göstermektedir: Örneğin, bahçecilik topraklarında kullanılan sentetik partiküller, binalardaki malzemeler, atık depolama alanları, atıkları yakma, gübre olarak kullanılan arıtma çamuru gibi [22]. Plastik ürünlerin ve ambalajların imalatında tipik enjeksiyon kalıplama işleminden sonra kırpma ve kalıplama işlemlerinden kalan mikroplastikten nano partiküllere kadar birtakım plastik parçacıklar atmosferde toz olarak kaybolan her boyutta olabilmektedir. Lastik aşınmasından kaynaklanan kauçuk partikül tozu emisyonu, denizde mikro partikül kontaminasyonunun ana kaynağı olabilmektedir. Bu tozların bir kısmı partikül madde olarak yüzey sularına veya kanalizasyona girebileceği gibi havaya da uçabilmektedir. Endüstriyel çamaşır yıkama tesisleri ve çamaşırhaneler muhtemelen bilinmeyen miktarlarda atmosfere mikro lifler salmaktadır [4].

Mikroplastiklerin kaynakları; sentetik tekstil lifleri, diş macunu, deterjan gibi ürünlerde bulunan mikroboncuklar, plastik fabrikalarının plastik atıkları, araç lastiklerinden aşınarak kopan parçacıklar ve çevreye bilişsizce atılan makro plastiklerin zamanla oluşturduğu küçük parçacıklar olarak sayılabilmektedir. 1970'lerden günümüze kadar kozmetik ürünlerinde sıkça kullanılan ve Amerika, Hollanda, Güney Kore, İtalya, Kanada gibi ülkelerde yasaklanan mikroboncuklar birincil mikroplastikler olarak geçerken, çevredeki makro boyuttaki plastiklerin, parçacıklara ayrılmasıyla oluşan veya araçların lastik atıkları ve belirli parçalanma ya da aşınmalar sonucu oluşan mikro parçacıklar ikincil mikroplastikler olarak sınıflandırılmaktadır [7,17]. Bu küçük parçalara ayrılma durumları; insan faaliyetleri sonucu oluşan yapay etkilerle ve su, güneş (ultraviyole ışını), rüzgar, hava etkisi gibi doğal etkilerle gerçekleşebilmektedir [6].

Şekillerinden ve üretimlerinden anlaşılacağı üzere bu iki mikroplastik kaynağının arasındaki önemli fark; birincil kaynaklı mikroplastiklerin, ikincil kaynaklı mikroplastiklere göre daha düzenli ve tutarlı bir morfolojiye sahip olmasıdır [78]. Böylelikle mikroplastikleri üretim şekillerine göre birincil (primer) ve ikincil mikroplastikler (sekonder) olarak ayırmak mümkündür [17]. Bu faydalı bir ayırmadır, çünkü bu sınıflandırma potansiyel kaynakların ve plastik parçacıklarının çevreye girdilerini azaltmak için kirlilik azaltıcı önlemlerin belirlenmesine yardımcı olabilmektedir. Ayrıca bu parçacıkların doğrudan kaynaklı orijinal veya esas olarak bu

boyutta mı üretildiğine (birincil mikroplastikler) veya daha büyük parçaların parçalanmasından dolayı olarak (ikincil mikroplastikler) kaynaklandığını belirlemeye kolaylık sağlamaktadır.

2.5.1 Birincil kaynaklı mikroplastikler

Birincil mikroplastikler, geniş bir ürün yelpazesi için orijinal olarak 5 mm'den küçük boyutlarda üretilenlerdir [79]. Kozmetiklerde, kişisel bakım ürünlerinde kullanılan ve dünya genelinde yasaklanmış olan mikro boncuklar, tekstil, makyaj malzemelerinde kullanılan simler, endüstriyel alanda üretilen mikro peletler ve geri dönüştürülmüş granül de denilen plastik peletler birincil mikroplastiklere örnektir [80]. Birincil mikroplastiklerin ana kaynakları şunlardır:

- Endüstriyel aşındırıcılar
- Spesifik tıbbi ürünler (diş cilası vb.)
- Kişisel bakım/temizlik ürünleri
- Sondaj sıvıları
- Hammaddeler (üretim peletleri veya plastik granüller)/ proses alt ürünleri
- Yanlış kullanım/bertaraf
- Atıksu arıtma tesisleri [87]

Birincil mikroplastikler, endüstriyel üretimden salınan partikül emisyonlarının, plastik ürünlerden plastik tozunun salınmasından yan ürünleridir [81]. Bu ürünler öyle tehlikelidir ki Kanada'da mikro boncuk içeren kişisel bakım ürünlerinin üretimini ve ithalatını yasaklamak için yasal işlem yapılmıştır [82]. Birincil mikroplastikler, çoğunlukla fiberler, pelet, mikro boncuk ve plastik partikülleri içermektedir [28]. Örneğin; plastik peletler (2-5 mm), plastik parçaların üretiminde kullanılan birincil mikroplastiklerdir [83]. Bu peletler, üretim, nakliye veya kullanım sırasında çevreye 'sızıntı' yoluyla girer [84]. Ayrıca atıksu arıtma tesisleri, özellikle kanalizasyon arıtımından günlük olarak boşaltılan büyük miktarda mikroplastik içeren atıksu göz önüne alındığında, çevredeki önemli bir birincil mikroplastik kaynağı olarak kabul edilmektedir [85].

Birincil mikroplastiklerin kaynaklarını birkaç kategoride sınıflandırmak mümkün olabilmektedir; bunlar başlıca işlenmemiş plastik üretim peletleri, basınçlı hava yoluyla oluşan aşındırıcılar, ilaçlar için üretilmiş olan vektörler, yüz temizleyicileri ve kozmetiklerdir. Birincil mikroplastiklerin kaynakları özellikle bakıldığında her bir kategoriden ne kadar salındığı miktarları ve konsantrasyonları hakkında önemli bilgi yetersizlikleri vardır. Birincil mikroplastikler genel olarak kanalizasyonlar aracılığıyla atıksu arıtma tesislerine, oradan da nehir ortamına dâhil olmaktadır [86].

2.5.2 İkincil kaynaklı mikroplastikler

İkincil mikroplastikler, ultraviyole radyasyona (güneş ışığı), kimyasal (tuzlu su), biyolojik (mikroorganizma) ve/veya mekanik (rüzgar ve dalga etkisi) bozulmaya çevresel maruz kalma yoluyla daha büyük plastik parçaların (>5 mm boyutunda) parçalanmasıyla oluşmaktadır [83]. İkincil mikroplastikler, sentetik kumaşların yıkanması sırasında salınan tekstil lifi parçalarını ve tarlada bırakılan kullanım sonrası tarımsal malçların film parçalarını içermektedir. Bununla birlikte, plaj ortamındaki plastik atıkların hava koşullarına maruz kalması ikincil mikroplastiklerin muhtemel baskın kaynağıdır. Okyanuslardaki hacimleri zorlu olmasına rağmen ikincil mikroplastikler çok yüksek mekansal ve zamansal değişkenliğe sahiptir [84]. İkincil mikroplastik ana kaynakları şunlardır:

- Bilinçsizce boşaltılan plastik atıklar
- Atılan olta takımları ve balık ağları
- Düzenli depolama ve geri dönüşüm sahaları-tesislerinde aşınmalardan kaynaklı atıklar
- Sentetik tekstillerden salınan lifler
- Gemiler tarafından üretilen plastik atıklar
- Hijyen ürünlerinden gelen lifler
- Organik atıklardan çıkan plastik malzemeler
- Boya çıkarma sırasında aşınmalardan ve sentetik boya kullanımlarından çıkan plastikler
- Komikroplastik katkı maddelerinde bulunan polimerler [87].

İkincil mikroplastikler, daha büyük plastik parçaların parçalanması ve hava koşullarına maruz kalmasından kaynaklanır. Bu, tekstil, boya ve lastik gibi ürünlerin kullanım aşamasında veya ürünler çevreye salındıktan sonra gerçekleşebilir. Parçalanma hızı bir dizi faktör tarafından kontrol edilmektedir [11]. Atılan plastik torbalar gibi yanlış yönetilen atıkların veya balık ağları gibi kasıtsız kayıplardan kaynaklanan fotodegradasyon ve diğer hava koşullarına maruz kalma süreçleri yoluyla gerçekleşmektedir. Bozulmaları nedeniyle ikincil mikroplastiklerin kökenlerini izlemenin zor olduğu göz önüne alındığında, makroplastiklerin ne kadarının artık mikroplastiklere dönüştüğünü anlamlı bir şekilde değerlendirmek zor olmaktadır [78].

İkincil mikroplastikler, hem atıksu arıtma tesislerinden hem de doğrudan doğaya bırakma kaynaklı bir kirlilik oluşturmaktadırlar [86]. İkincil mikroplastiklerin bir başka kaynağı, lifli yapısı nedeniyle büyük hacimlerde lifleri çevreleyen suya bırakabilen atılan halatlar, mikroplastiklerin en büyük kaynaklarından plastik halatların bozulması ve yırtıcı hayvan ağları olmaktadır [19].

2.6 Mikroplastik Kirliliğinin Giriş Noktası Nehirler ve Mikroplastik Taşınımı

Nehirler, mikroplastiklerin denizlere ana taşınma vektörleridir [88]. Okyanusların önemli miktarda plastik atık birikimi içerdiği iyi bilinmektedir ancak nehir havzalarındaki mikroplastik kaynaklarına bakmak için çalışmalar çok yakın zamanda başlamıştır. Bu Ülkemizde “Deniz İzlemelerinde Standardizasyonun Sağlanması Projesi” kapsamında hazırlanan deniz izleme kılavuzuna göre mikroplastik kirliliğinin izlenmesine yönelik olarak yürütülecek çalışmalarda örneklemelerin, karasal nitelikli etkilerin çok iyi bir şekilde gözlemlenerek tespit edilebileceği bölgeler olan yerleşim yerlerinin veya nehirlerin denize döküldüğü yerlerin yakınlarında seçilmesi önerilmektedir. [89].

Plastikler sucul ortama denizel ya da karasal kaynaklardan ulaşmaktadır. Denizel ortamlardaki ve okyanuslardaki giderek artan plastik kirliliğinin çoğu karasal ortamlardan gelmektedir. Bu makro boyuttaki plastik atıklar, hava akımları, su akımları, kıyı hareketleri gibi farklı doğal yollar, değişik antropojenik faaliyetler ve çıkış sularının kaynaklara deşarjları aracılığıyla mikroplastiklere bölünerek nehirlerle ve oradan denizlere ulaşmaktadır. Mikro boyuttaki bu kirleticilerin deniz ve tatlı su ortamları başta

olmak üzere çok farklı su ortamlarında (göl, akarsu, sediment, kıyılar gibi) bulunabileceği görülmekle birlikte mikroplastik parçacıkların üzerinde bulundurduğu organizmaları ve gittikçe büyüyen kimyasal kirliliği oldukları yerden çok uzak mesafelere taşınması potansiyeli var olan plastik atık kirliliğini daha tehlikeli hale getirmektedir. Çeşitli su ekosistemlerindeki mikroplastiklerin varlığı, önemli bir çevresel sorun olarak dikkat çekmiştir.

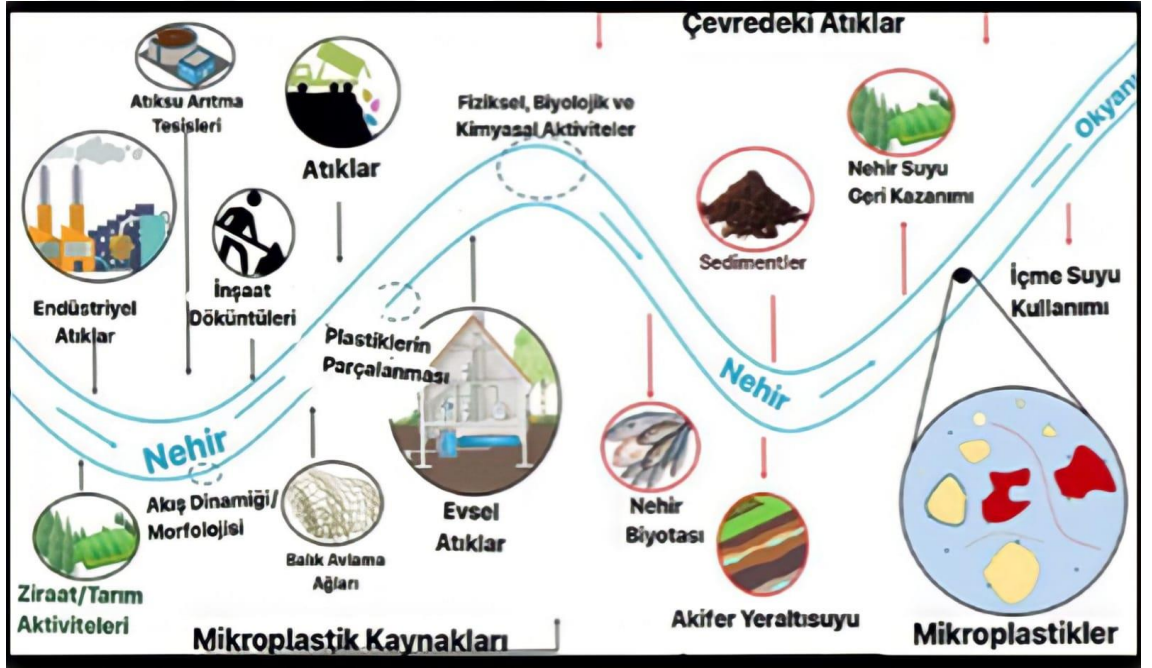
Uzak yerlerde görünen mikroplastikler plastik döngü ile açıklanabilmektedir. Dünya okyanuslarında biriken mikroplastikler, yağmur bulutlarını oluşturan buharlaşmada bulunabilecek kadar küçüktür, bu yağış mikroplastikleri daha sonra dağlık bölgelerde ve diğer uzak yerlerde biriktirmektedir. Sonraki aşamada ise göller ve nehirler, mikroplastikleri okyanusa geri taşıyarak bu plastik döngüyü oluşturmaktadır [2].

Mevcut kanıtlar, mikroplastik kirliliğinin deniz ortamında olduğu kadar karada ve tatlı suda da yaygın olduğunu göstermekle birlikte deniz suyunda, göllerde, nehirlerde, haliçlerde, tortullarda ve birçok biyota türünde gözlemlenmiştir [4,44]. Denizel ortamda bulunan mikro boyuttaki plastiklerin kaynağına yönelik yapılmış değerlendirmelerde özellikle yerleşim merkezlerinde veya bölgelerinde altyapının bir parçası olmuş yağmur kanallarının ve arıtma sistemlerinin akarsulara deşarjlarının önemli etkilerinin olduğu ortaya konulmuştur [89].

Nehirlerden okyanuslara plastik akışının gerçekçi tahminleri, plastik atık kaynakları konusunda farkındalığın artırılmasına yardımcı olmak ve nihayetinde onu azaltmak için önlemler almak için çok önemlidir [90]. Bazı araştırmalar sadece tatlı su ekosistemlerinde mikroplastiklerin varlığını bildirmekle kalmamakta, kirlenmenin okyanuslardaki kadar şiddetli olduğunu da göstermektedir. Kıtasal sularda, hem tortullarda (ağırlıklı olarak göl ve nehir kıyılarında) ve su örneklerinde (ağırlıklı olarak göllerin ve nehirlerin yüzey sularında) mikroplastikler gözlenmiştir [4]. Mikroplastiklerin deniz ortamına girişi daha önceleri taşımacılık faaliyetleri, deniz kazaları ve plastik atıkların bertarafına atfedilirken, günümüzde ağırlıklı olarak nehirler vasıtasıyla geldiği bilinmektedir [91].

Mikroplastikleri denizlere taşıyan en önemli kaynakların başında gelen nehirlerde ve nehir vadilerinde meydana gelen kıyıcilık çalışmaları, kaçak veya kontrolsüz boşaltım,

yeterli olmayan atık yönetimi, kanalizasyon, sanayi ve kentsel atıksu tesisleri, limanlar, sızıntı suları gibi faaliyetler önemli kaynaklardır [28]. Yapılan bir araştırma, nehir ortamlarındaki mikroplastik kirliliğinin, kötü su kalitesine sahip nehirlerde, iyi su kalitesine sahip nehirlere göre daha fazla arttığını ve nehir ortamlarındaki mikroplastiklerin kaynaklarının ve içeri akış süreçlerinin diğer kirleticilerinkine benzer şekilde geliştiğini göstermektedir [92]. Kısaca akarsular, karasal alanlardan veya iç kesimlerden deniz ekosistemlerine mikroplastik taşınmasının ana yolları olarak görülmektedir ve nehre giren bu mikroplastiklerin su kalitesi açısından çok önemli bir parametre olduğu kanıtlanmaktadır. Şekil 2.5'te çeşitli kaynaklardan nehirlere gelen mikroplastikler şematik görülmektedir.



Şekil 2.5 Nehirlere ulaşan mikroplastik kaynakları [93]

Mikroplastiklerin nehir çökeltilerinde dağılımı şekli ve taşınması hakkındaki bilgiler ise yetersizdir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda nehirlerdeki mikroplastik taşınımı kısaca şu şekilde açıklanmaktadır:

Kara kaynaklarından gelen çoğu mikroplastikler ve atıksu arıtma tesislerinden çıkan mikroplastik içeren atıklar yüzey akışı yoluyla doğrudan nehirlere ve göllere

boşaltılmaktadır. Genel olarak, küçük ve hafif plastik partiküller suyun üst yüzeyinde asılı kalırken, büyük ve ağır plastik partiküller suyun dibinde birikmektedir [36]. Mikroplastik partiküller düşük yoğunluklarından dolayı bir su kütesine girdikten sonra başlangıçta su kolonunda yüzmektedir. Daha sonra biyofilm birikimi veya asılı kil partikülleri ile etkileşim gibi ek faktörlerin neden olduğu artan yoğunluk nedeniyle su akışları ile taşınmaktadır veya sedimente batmaktadır. Akış hızında bir artış varsa, daha önce çöken mikroplastiklerin sediment ile birlikte yeniden hareket etmesi muhtemeldir. Böylece nehir sedimentlerinin mikroplastik kirleticiler için lavabo işlevi ve daha fazla taşınma vasıtası olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, plastikler yalnızca suda yüzerek nehirlerden okyanuslara akan sularla taşınmakla kalmamaktadır, aynı zamanda nehir yatağında çökelmekte ve birikmektedir [94]. Nehir halice ulaştığında, bir yandan haliç kesitindeki ani artış nedeniyle su akış hızı hızla düşmektedir. Öte yandan, sürekli gelgit akışı nehir suyunu engelleyecektir. Nehir ağzının özel geçiş alanı için, haliçler yüksek konsantrasyonda mikroplastik içermektedir, ancak nehir çökeltilerindeki mikroplastik konsantrasyonu, haliçlerdekinden çok daha yüksektir [95]. Bu, nehirlerin mikroplastikler ve nanoplastikler tarafından okyanuslardan daha ciddi şekilde kirlenmekte olduğu anlamına gelmektedir [96]. Ayrıca, yüzme, rüzgar ve gelgit akımları altında, halicin üst kısmı daha yüksek miktarda yüzer mikroplastik parçacık içeren en büyük bulanıklık akımından etkilenmektedir ve belirli alanlarda mikroplastiklerin sıcak noktalarını oluşturmaktadır [97].

2.6.1 Nehirlere atıksu arıtma tesislerinden gelen mikroplastikler

Dünya üzerindeki doğal su ekosistemi büyük tehlike altındadır ve bu tehlikeyi oluşturan en büyük kaynaklarından biri atıksu arıtma tesislerindeki yetersizlik ve deşarjlarının yanlış yapılması durumlarıdır. Atıksu arıtma tesislerinin evsel ya da endüstriyel kaynaklı deşarj suları yüksek miktarda mikroplastik barındırmaktadır. Deşarjın olduğu yerlerin nehirler gibi mikroplastığı uzak yerlere taşıyan su ortamlarının olduğu düşünülürse su ekosistemi tehlike altındadır.

Endüstriyel faaliyetler ve daha büyük plastik çöplerin parçalanmasından kaynaklı mikroplastiklerin oluşmasının yanı sıra atıksu arıtma tesislerinden atıksu deşarjının nehirler, göller ve rezervuarlar gibi tatlı su sistemlerindeki en büyük mikroplastik kaynağı

olduğu bildirilmiştir [77]. Bazı kaynaklara göre atıksu arıtma tesislerinin nehir havzalarındaki mikroplastiklerin ana kaynağı olduğu varsayılmıştır [98].

Bazı mikroplastiklerin sucul ekosistemde varlığının tespit edilmesinin nedeninin atıksu arıtma tesislerinin yeterince arıtım yapmaması olduğu düşünülmektedir [75]. Bu yüzden mikroplastiklerin atıksu arıtma tesislerinde arıtım verimlilikleriyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların birinde; hızlı kum filtrasyonu, disk filtre, çözünmüş hava flotasyonu ve membran biyoreaktör olmak üzere çeşitli ileri arıtma proseslerini değerlendiren dört farklı belediyenin atıksu arıtma tesislerinde mikroplastik arıtım potansiyelleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda mikroplastiklerin membran biyoreaktörde %99,9 (Giriş: 6,9 adet/L, ıkış: 0,005 adet/L mikroplastik), hızlı kum filtresinde %97 (Giriş: 0,7 adet/L, ıkış: 0,02 adet/L mikroplastik), çözünmüş hava flotasyonunda %95 (Giriş: 2,0 adet/L, ıkış: 0,1 adet/L mikroplastik) ve disk filtrede %70 (Giriş: 0,5-2,0 adet/L, ıkış: 0,03-0,3 adet/L mikroplastik) oranında giderildiği tespit edilmiştir. Bu alışma, ileri arıtma teknolojileri ile atıksu arıtma tesislerinden su ortamlarına deşarj edilen mikroplastik kirliliğinin önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir [99].

Hem birincil hem de ikincil mikroplastikler, kıta içi su ortamına çeşitli yollarla girebilmektedir [4]. Bu durum atıksu arıtma tesisi kaynaklı mikroplastik kirliliği çalışmalarından da görülebilmektedir. Örneğin atıksu arıtma tesisi deşarjlarının yüzey sularındaki mikroplastik konsantrasyonlarına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada genellikle 125-250 and 250-500 m boyut aralığındaki mikroplastikler deşarj noktasından sonra önemli oranda arttığı, birincil mikroplastiklerin miktarı deşarj sonrası önemli oranda artarken, miktarı belirlenen boyut aralıklarında ikincil mikroplastiklerin baskın (%66-88) olduğu belirlenmiştir [100]. Japonya'da nehir ortamlarındaki mikroplastiklerin kaynaklarını ve giriş süreçlerini araştıran bir çalışmaya göre mikroplastik konsantrasyonları kentleşme ve nüfus yoğunluğu ile doğrudan ilişkili olup, mikroplastiklerin kaynakları da diğer kirleticiler ile benzerdir [92]. Bazı alışmalar bu bulguyu, nispeten düşük nüfuslu nehir havza alanlarının önemli bir mikroplastik kaynağı olmadığına dair tespitiyle doğrulamaktadır [101].

Nehir havzalarındaki mikroplastikleri ölçen ve potansiyel kirlilik kaynaklarını belirleyen başka bir çalışmaya göre atıksu arıtma tesisleri nehir havzalarındaki ana mikroplastik kaynaklarıdır. Ancak diğerler kaynaklar da oldukça önemlidir ki bunlar tarım arazilerine uygulanan kanalizasyon çamurunu, ikincil mikroplastiklerin dağılık salınımını ve hava birikimini içermektedir [102]. Örneğin Kuzey İtalya'nın, en büyük atıksu arıtma tesislerinden birinde atıksu ve arıtma çamuru üzerine bir çalışma yapılmıştır ve bu çalışmada tesis tarafından günlük olarak üretilen 30 ton çamurda biriktirilen yaklaşık 3.400.000.000 adet mikroplastiğe karşılık gelen 113 ± 57 mikroplastik/g kuru çamur ağırlığı tespit edilmiştir. Çalışma arıtma çamurunun tarımda olası kullanımı göz önüne alındığında, sonuçlar arıtma tesislerinin tarımsal ekosistemler için de potansiyel bir mikroplastik kaynağı olabileceğini vurgulamaktadır [103].

Nehirlere gelen yüksek konstrasyonlardaki mikroplastiklerin kaynağı genellikle atıksu arıtma tesisi olarak düşünülebilmektedir. Bunu kanıtlayacak başka bir çalışmada; kırsal alan, bir atıksu arıtma tesisi deşarj alanı, tekne iskelesine ve bakım istasyonuna yakın bir alandan örnekler alınmıştır. Bu çalışmada en düşük konsantrasyonlar kırsal kesimde ve en yüksek konsantrasyonlar atıksu deşarjı, tekne iskelesi ve bakım atölyesi yakınında bulunmuştur [104].

Dünyada son dönemde yapılan araştırmalar, yeni su araştırma alanındaki en önemli ihtiyaçlardan birinin nehirlerdeki, özellikle de atıksu arıtma tesislerinin deşarj edildiği nehirlerdeki mikroplastikleri incelemek olduğunu göstermektedir [102]. Ülkemizde ise bu konuda araştırmalar yetersizdir. Atıksu arıtma tesisleri muhtemelen Türkiye'deki su ekosistemindeki ana plastik kaynaklarından biridir. Arıtma tesislerine giren plastik parçacıkların bir kısmının arıtma çamurunda tutulduğu, bir kısmının ise deşarj edilen atıksu yoluyla su ekosistemlerine boşaltıldığı birçok çalışmada rapor edilmiştir. 2016 yılında Türkiye'deki atıksu arıtma tesisi sayısı 881'dir ve bu arıtma tesislerinin yaklaşık %5'i arıtılmış atıksularını göl ve barajlara, %65'i akarsulara ve %30'u denizlere deşarj etmektedir. Arıtma tesislerinin sayısının görece fazla olmasına, bu arıtma tesisi atıklarının büyük çoğunluğunun sucül ekosistemlere deşarj edilmesine ve Türkiye'de 25 nehir havzası olmasına rağmen nehirlerden denizlere gelen mikroplastik yükleri hakkında yayınlanmış bir çalışma bulunmamaktadır [105]. Bu konuda daha fazla veri üretilerek,

akarsularımız ve denizlerimizdeki mikroplastik konsantrasyonlarını azaltmaya yönelik tedbirlerin alınması gerekmektedir.

2.7 Mikroplastik Analiz Yöntemleri

Su, toprak ve havasal ortamlardaki mikroplastiklerin belirlenmesinde analiz sonuçlarının karşılaştırılabilir olması için uluslararası ve ulusal standartlarda kabul edilmiş bir laboratuvar analiz yöntemi bulunmadığı görülmektedir.

Nitekim şu anda nehirlerdeki mikroplastiklerin izlenmesi için de kabul edilen standart bir yöntem yoktur. Ancak su ortamındaki mikroplastiklere ilişkin diğer birçok çalışmada yapıldığı gibi çalışma sahasında uygulanan yöntemler eleme ve ağlarla olmaktadır [102]. Mikroplastik laboratuvar analiz aşamaları ise genellikle ayırma-eleme, saflaştırma, miktar belirleme ve tanımlama şeklinde olmaktadır. Bu analiz çalışmalarında deneysel yöntem için mikroplastikler numune içerisinden yoğunluk farkından yararlanılarak veya vakumlu filtrasyon sistemiyle ayrılmaktadır [17].

Mikroplastikler sucul ekosistemde su yüzeyi, su sütunu ve sediment içerisinde incelenebilmektedir. Hidalgo-Ruz ve arkadaşlarının deniz ortamındaki mikroplastikler için kullanılan yöntemlere yönelik yaptığı çalışmaya göre su ortamından mikroplastik numuneleri toplamak için seçici örnekleme, toplu örnekleme ve hacmi azaltılmış örnekleme yöntemleri kullanılmaktadır. Seçici örnekleme; plastik parçaların çıplak gözle tanımlanacak kadar büyük olduğu durumlarda uygulanmaktadır. Toplu örneklemede numunedeki tüm mikroplastikler; boyutlarına, görünürlüğüne bakılmaksızın yakalanabilmektedir ve mikroplastiklerin kolayca tanımlanamadığı durumlarda bu yöntem en uygundur. Hacmi azaltılmış örnekleme ise hızlı filtrasyonla bir toplu numunenin bütün hacminin azaltılması ve analiz için numunenin sadece küçük bir kısmının alınmasıdır. Laboratuvarda analiz işlemi ve mikroplastiklerin sınıflandırılması, toplu ve hacmi azaltılmış numuneler için esastır [13].

3. BÖLÜM

METARYAL VE METOT

3.1 Çalışma Alanı

Bu çalışmada çalışma alanı olarak Kızılırmak nehrinin Nevşehir ve Kırşehir il sınırları içerisindeki bölge seçilmiştir. İç Anadolu Bölgesi'nin doğusunda yer alan Sivas iline bağlı İmranlı ilçesi civarında doğan Kızılırmak Nehri, sırasıyla Sivas, Kayseri, Nevşehir, Kırşehir, Kırıkkale, Ankara, Aksaray, Çankırı, Çorum ve Samsun illeri içerisinde geçer ve bölgedeki çok sayıda akarsu, çay ve dere sularını bünyesinde toplayarak Karadeniz'e dökülür. Düzensiz bir rejime sahip olan Kızılırmak Nehri, kar ve yağmur sularıyla beslenmektedir. Temmuz ve Şubat ayları arasında düşük debilerle akan nehir, Mart ayında hızla kabarmaya başlar ve Nisan ayında en yüksek debiye ulaşır. Kızılırmak Nehri üzerine inşa edilen en önemli su yapıları Kayseri yakınlarındaki Sarıoğlan Barajı, Yemliha yöresindeki Yamula Barajı, Çorum yakınlarındaki Obruk Barajı, Ankara yakınlarındaki Hirfanlı, Kesikköprü ve Kapulukaya barajları, Boyabat yakınlarındaki Boyabat Barajı ile Kızılırmak Nehri'nin denize deşarj olduğu bölgeye yakın, Bafra Ovası üzerinde yer alan Altınkaya ve Derbent barajlarıdır. Kızılırmak Nehri'ni Türkiye'deki diğer nehirlerden ayıran en önemli özelliklerden biri, havzanın değişik formasyonlar içermesidir [106]. Özellikle bu bölgedeki baraj yapımlarından sonra bazı bitkilerin biyokütlesinin büyük ölçüde arttığı, su akış hızının, oksijenin ve diğer parametrelerin değiştiği gözlemlenmiştir [107].

Kızılırmak'ın Nevşehir il sınırları içerisinde kalan bölümünde 3 farklı noktadan toplam 4 adet numune, Kırşehir il sınırları içerisindeki kesiminde ise 2 farklı noktadan toplam 3 adet numune Haziran ve Temmuz 2021 aylarında alınmıştır. Numune noktaları seçilirken, atıksu arıtma tesisi deşarjları, yerleşim bölgeleri gibi potansiyel mikroplastik kaynaklarının hemen sonrasında olması göz önünde bulundurulmuştur.

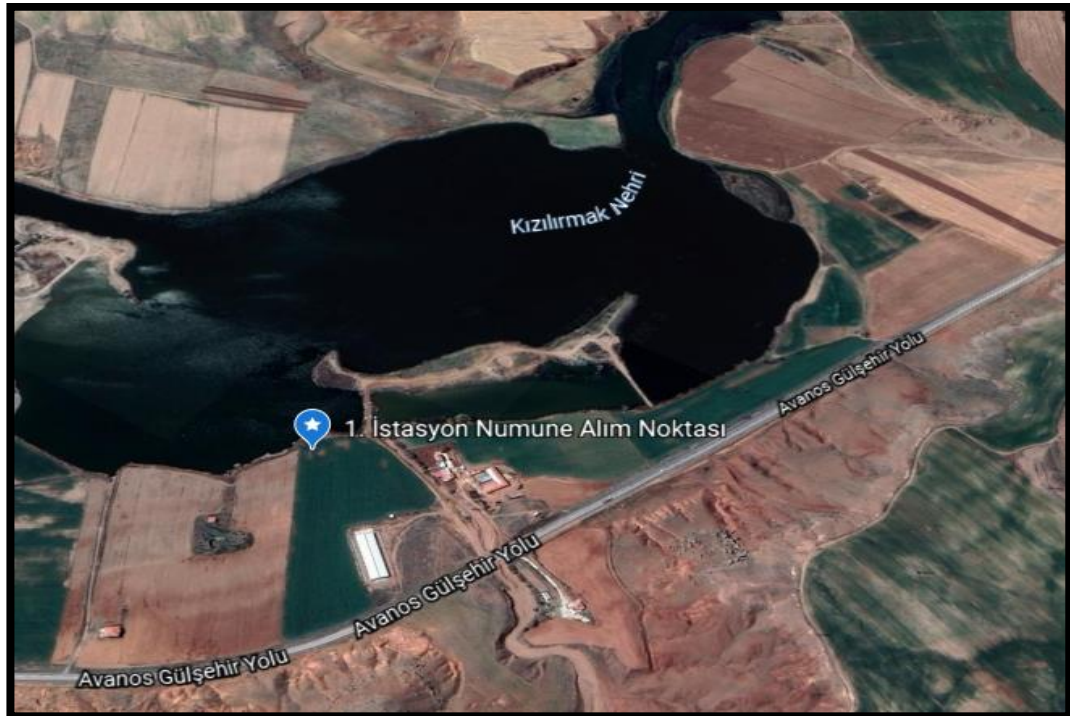
Bu tez kapsamında Kızılırmak Nehri'nde araştırma ve çalışma yapılabilmesi için T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 12. Bölge Müdürlüğü'nden gerekli izinler alınmıştır (Ek-1).

3.1.1 Kızılırmak Nehri – Nevşehir İli

Çalışma alanı olarak seçilen Kızılırmak Nehri'nin de geçtiği Nevşehir ili, İç Anadolu Bölgesi'nde 38°12' ve 39°20' kuzey enlemleri ile 34°11' ve 35°06' doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Tamamıyla Orta Kızılırmak Havzası'na giren Nevşehir, konum itibariyle Türkiye'nin tam ortasındadır.

Kızılırmak'ın Nevşehir il sınırları içindeki uzunluğu 100 km, debisi 2.740 hm³/yıl'dır [108]. Kızılırmak vadisinin güney yamacına kurulmuş olan il merkezinin rakımı 1.150 m'dir. İl, Kızılırmak vadisinin ikiye ayırdığı, doğudan batıya doğru inildikçe çukurluğu gittikçe artan güney ve kuzey bölgelerine doğru gidildikçe yükselen bir konumdadır [107].

Bu çalışma alanında Kızılırmak Nehri'nin geçtiği 3 noktadan birer numune alınmıştır. İlk numune noktası Avanos ilçe merkezinin çıkışında ve Avanos-Gülşehir yolu kenarında 38° 44' 50'' kuzey enlemi ile 34° 46' 04'' doğu boylamında olup, çevresinde ağırlıklı olarak tarım alanları bulunmaktadır. Ayrıca bu numune noktası Avanos Belediyesi atıksu arıtma tesisinin yaklaşık 6 km aşağısındadır (Resim 3.1, 3.2 ve 3.3).

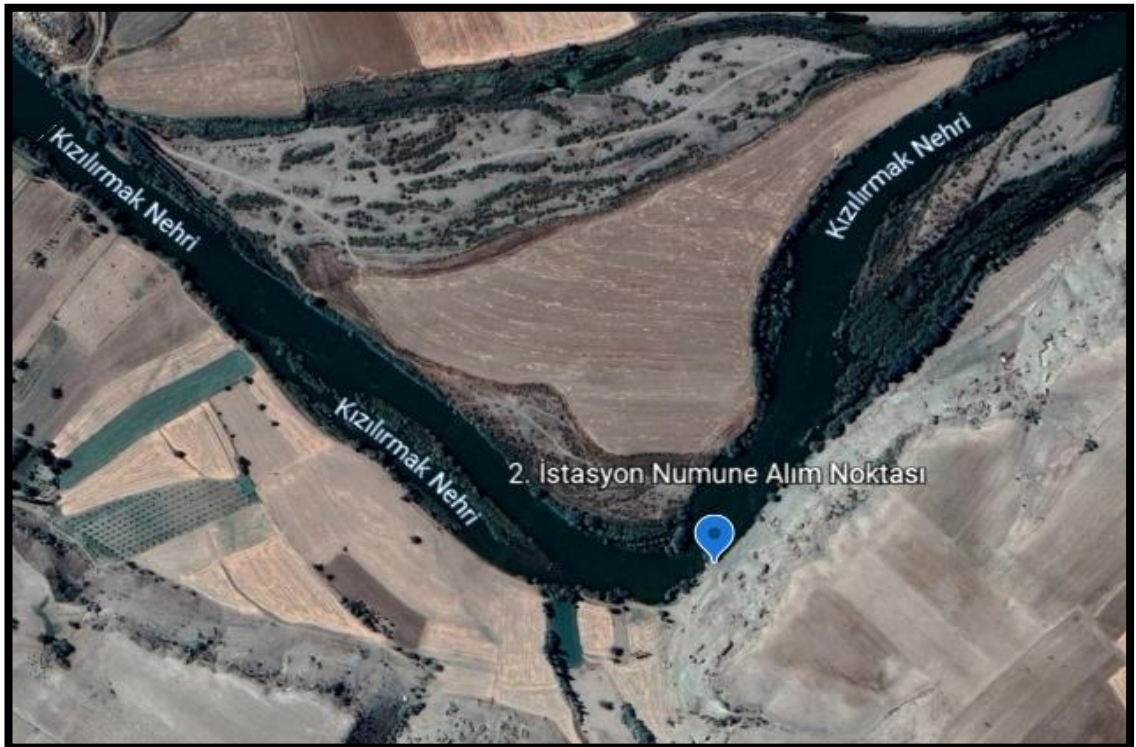


Resim 3.1 Nevşehir Kızılırmak Nehri numune alım noktası – 1. istasyon



Resim 3.2 ve Resim 3.3 Nevşehir Kızılırmak Nehri 1. numune alım yeri

2. istasyon $38^{\circ} 48' 10''$ kuzey enlemi ile $34^{\circ} 27' 14''$ doğu boylamındaki ve 1. İstasyonun mansapa doğru daha aşağısındadır. Yine tarım alanlarının içinden geçilen ve karayolunun yakınındaki bu kesimde görülen balık ağları, balıkçılık faaliyetlerinin de yapıldığını göstermektedir (Resim 3.4, 3.5 ve 3.6).



Resim 3.4 Nevşehir Kızılırmak Nehri numune alım noktası – 2. istasyon



Resim 3.5 ve Resim 3.6 Nevşehir Kızılırmak Nehri 2. numune alım noktası

Seçilen 3. numune alma noktası ise Avanos ilçesindeki, genellikle araçların geçişi için kullanılan Kızılırmak – Avanos 2 köprüsü yanındadır. $38^{\circ} 43' 30''$ kuzey enlemi ile $34^{\circ} 49' 13''$ doğu boylamındaki bu istasyonun bulunduğu yerin yakınlarında tuğla fabrikaları, otel gibi işletmeler vardır (Resim 3.7, 3.8 ve 3.9).



Resim 3.7 Nevşehir Kızılırmak Nehri numune alım noktası - 3. istasyon



Resim 3.8 ve Resim 3.9 Nevşehir Kızılırmak Nehri 3. numune alım yeri

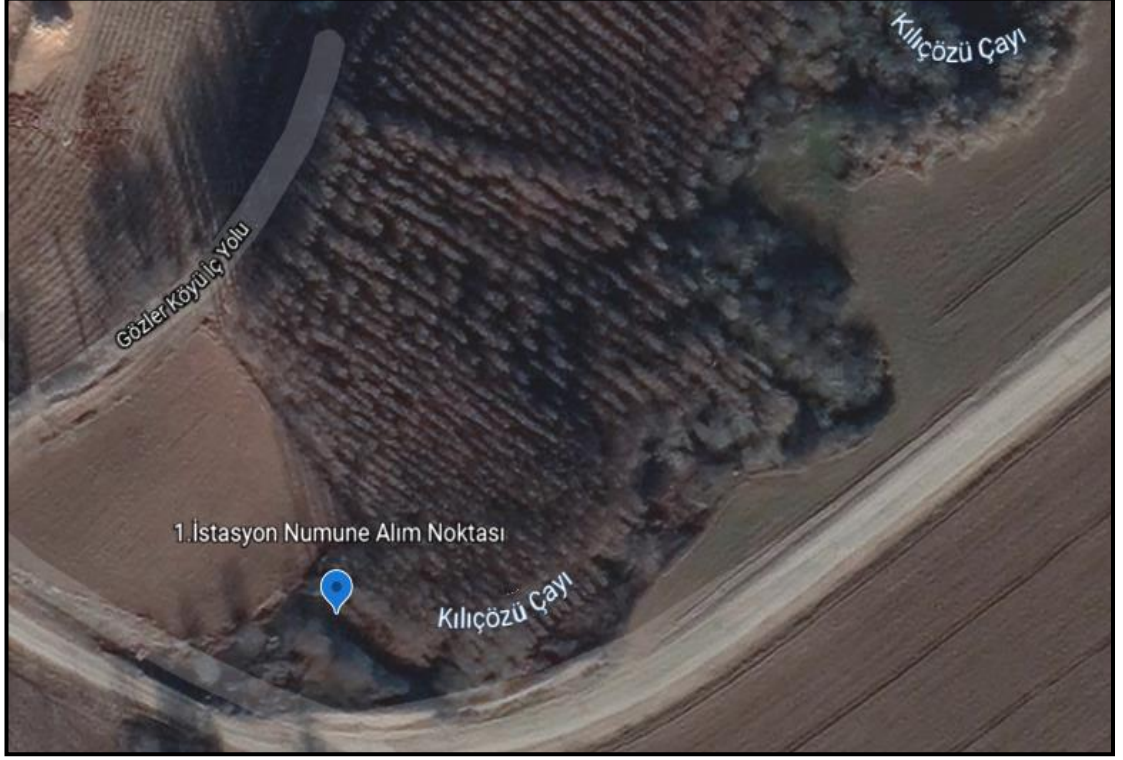
3.1.2 Kızılırmak Nehri - Kırşehir İli

Nevşehir'e komşu illerden biri olan Kırşehir İli Türkiye'de İç Anadolu Bölgesinin Orta Kızılırmak bölümünde, 38°50'-39°50' kuzey enlemleri ve 33°30'-34°50' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Kızılırmak yayı içerisinde bulunan Kırşehir Masifi Türkiye'nin 9 büyük masifinden en büyüğüdür. Kırşehir Masifi yaklaşık olarak 2.000 – 2.500 metre kalınlıkta bir yapıdır. Ayrıca Kızılırmak Nehri'nin il sınırları içindeki uzunluğu 112 km, debisi ise 3.222 m³/sn'dir [109].

Bu bölgede akarsu ağırlıklı olarak sulama ve enerji elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca Kırşehir il sınırları içerisinde Kızılırmak havzasına ait alt havzalar yer almaktadır. Bu alt havzalarda yeraltı su seviyesi topografyaya ve hidrojeolojik koşullara göre değişkenlik göstermektedir. Kızılırmak nehri üzerinde kurulu olan Hirfanlı Hidroelektrik Santrali'nde elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmektedir. Kırşehir Merkez ilçe nüfusunun atıksularının arıtıldığı Kırşehir Belediyesi'ne ait atıksu arıtma tesisi Kızılırmak havzasında yer alan Kılıçözü Deresi'ne deşarj yapmaktadır [109].

Kızılırmak Nehri'nin Kırşehir il sınırları içerisindeki kesiminde 2 istasyondan birer adet numune alınmıştır. İlk numune alım noktası Kılıçözü Çayı üzerinde, 39° 01' 41'' kuzey enlemi ile 34° 07' 50'' doğu boylamında olup, atıksu arıtma tesisi deşarjının aşağısında

ve tarım alanlarının içerisinde (Resim 3.10, 3.11 ve 3.12). Kılıçözü Çayı üzerinde sulama ve taşkın önleme amacı ile Çoğun barajı, Kılıçözü, İğdeliöz ve Güzler sulama regülatörleri yapılmıştır. Düzensiz bir rejime sahip olan çayın debisi yazın azalmaktadır.



Resim 3.10 Kırşehir Kızılırmak Nehri numune alım noktası – 1. istasyon



Resim 3.11 ve Resim 3.12 Kırşehir Kızılırmak Nehri 1. numune alım yeri

Kırşehir kesimindeki 2. numune noktası, il sınırları içerisindeki merkez ilçesine bağlı Kesikköprü köyü yakınından alınmıştır. Burası Kırşehir merkezine yaklaşık 21 km uzaklıktadır ve Kızılırmak'ın en çoşkulu ve bol aktığı, Hirfanlı baraj gölünün su tutma havzasının hemen önünde bulunur. $38^{\circ} 57' 41''$ kuzey enlemi ile $34^{\circ} 11' 52''$ doğu boylamındaki bu numune noktası da tarım alanları ile çevrilidir ve karayollarına yakındır (Resim 3.13, 3.14 ve 3.15).



Resim 3.13 Kırşehir Kızılırmak Nehri numune alım noktası – 2. istasyon



Resim 3.14 ve Resim 3.15 Kırşehir Kızılırmak Nehri 2. numune alım yerleri

3.2 Numunelerin Alımı

Kızılırmak nehrinden numune alınımında iki farklı örnekleme yöntemi uygulanmıştır: Ekelden süzme ve kepçe ile örnekleme.

3.2.1 Elekten süzme

Bu yöntemde herbir numune noktasında kıyıda ve su yüzeyinin hemen altından 10 L hacimli bir kova yardımıyla toplam 100 L su örneği alınarak gözenek çapı 200 µm olan çelik elekten süzölmüştür. Süzölen su tekrar ırmağa dökölürken, elek üzerinde kalan katı maddeler bol saf su ile yıkanarak kaplara aktarılmıştır (Resim 3.16 ve 3.17). Sonrasındaki işlemlere laboratuvar ortamında devam edilmiştir.

3.2.2 Kepçe ile örnekleme

Kepçe kullanılan örnekleme yönteminde 500 µm gözenek çaplı kepçe ırmağın akıntılı bir noktasında ve yüzeye yakın şekilde 5 dk süreyle tutulmuş, yakalanan katı maddeler ilk yöntemdeki gibi saf su ile yıkanarak örnek kabına aktarılmıştır (Resim 3.18). Sonrasındaki işlemlere ilk yöntem ile aynı şekilde devam edilmiştir. Bu yöntem Kırşehir 2. istasyon ve Nevşehir 2. istasyonda uygulanmıştır.



Resim 3.16 Numune alınımında sahada kullanılan 200 µm gözenek çaplı çelik elek



Resim 3.17 Numuneleri elekten süzme işlemi



Resim 3.18 Nehirden kepçeyle numune alınması

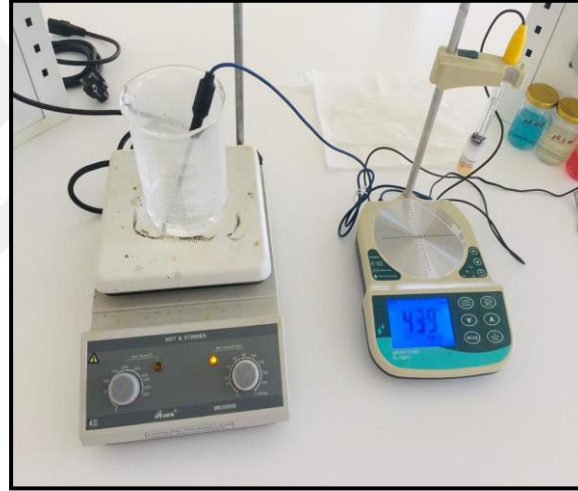
3.3 Laboratuvar Ön İşlemleri

Deneysel çalışma için örnekleme noktasında kepçe ve elekten süzülen tüm numuneler, laboratuvar ortamında tekrar elekten geçirildikten sonra mikroplastiklerin diğer organik ve inorganik maddelerden ayrıştırılabilmesi için bu numunelere 2 farklı yöntem uygulanmıştır.

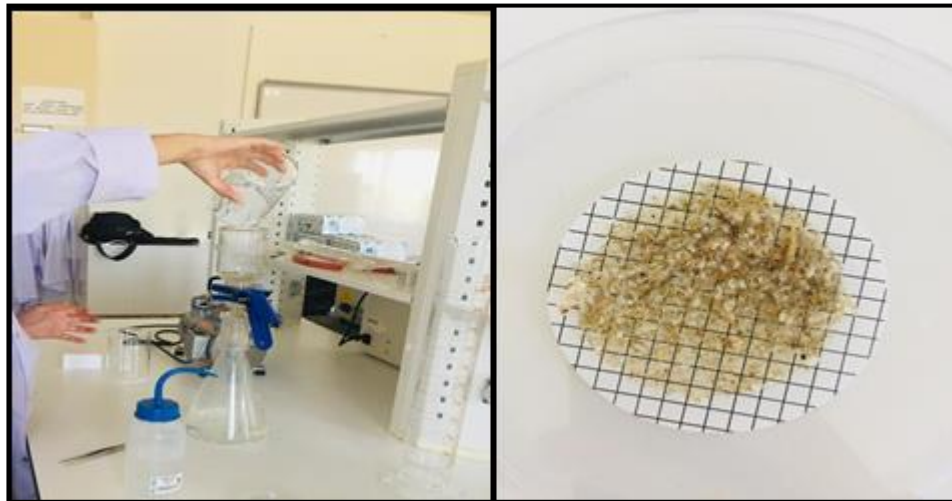
3.3.1 Oksidasyon-filtrasyon yöntemi

Deneysel çalışma için filtrasyon yöntemi Nevşehir 2. istasyonda elekten süzülen ve kepçe ile alınan numunelere uygulanmıştır. Bu yöntemde eleme, ıslak oksidasyon ve vakumlu filtrasyon işlemleri uygulanmıştır. Saf suyla durulanarak ikinci kez elekten geçirilen

gözle görünür katı parçacıklar cımbız yardımıyla alınmıştır. Böylece elektteki mikro boyuttaki katı maddeler bir sonraki aşama için hazır olmuştur. Alınan katı parçacıklar, saf suyla beherde 100 ml'ye tamamlanmış ve içerisinde bulunabilecek mikroplastik dışındaki organik maddeleri oksidasyonla gidermek amacıyla numuneye 20 ml %30'luk Hidrojen Peroksit (H_2O_2) ilave edilmiştir. Beher 70°C sıcaklıktaki manyetik karıştırıcı üzerinde 5 dk bekletildikten sonra soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra beherdeki su numunesi 0,45 μm gözenek çaplı membran filtreden vakum yardımıyla süzölmüştür (Resim 3.20). Ardından üzerinde katı parçacıklar bulunan membran filtre, havadan toz zerresi gibi maddeler gelmemesi için petri kabına alınarak oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Böylece elde edilen mikroplastikler mikroskop altında incelemeye hazır hale gelmiştir.



Resim 3.19 Manyetik karıştırıcıdan numunenin ısıtma işlemi



Resim 3.20 Filtrasyon işlemi ve üzerindeki kalıntılarla birlikte membran filtre

3.3.2 Oksidasyon-yoğunluk farkı ile ayırma yöntemi

Nevşehir 1. ve 3. istasyondan eleklerle alınan numunelere ve Kırşehir 1. ve 2. istasyondan alınan tüm numunelere ilk yöntemden farklı olarak yoğunluk ayırma yöntemi uygulanmıştır.

Bu yöntemde, saf suyla durularak 2. kez elekten geçirilen elektteki mikroplastik olmayan iri katı parçacıklar pens yardımıyla ayıklanmıştır. Kalan katı partiküller saf suyla yıkanarak beherde yaklaşık 200 – 250 mL'ye tamamlanmış ve beher 70° – 90°C'ye kadar manyetik karıştırıcıda 2 saat ısıtılmıştır. Böylece beher içindeki hacim 100 ml'ye kadar buharlaşmıştır. Isıtıcıdan alınan beherin üstü alüminyum folyo ile kapatılarak soğumaya bırakılmıştır.

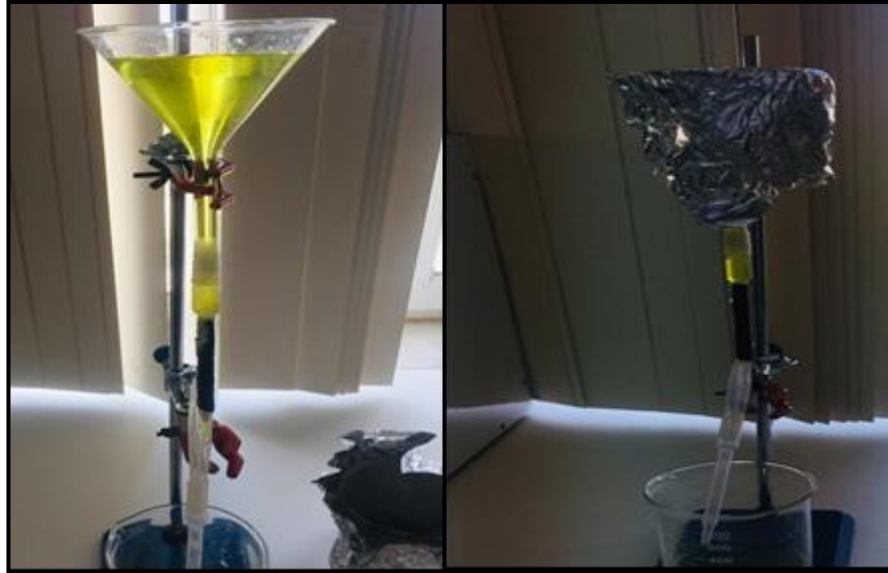
Daha sonra beher içindeki mikroplastikler dışındaki kompleks organik katı maddelerin parçalanması için 20 mL 0,05 M $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ katalizör çözeltisi ve 20 mL %30'luk H_2O_2 çözeltisi ilave edilmiştir. Oldukça reaktif olan bu karışımın çözünümü için 5 dakika bekletilmiştir (Resim 3.21). Ardından şiddetli kaynamayı engellemek için beher en fazla 75°C'de yaklaşık 30-45 dk bekletilmiştir. Reaksiyon tamamlandıktan sonra çözelti içerisinde hala organik maddeler kalmışsa tekrar 20 mL H_2O_2 çözeltisi ilave edilip işlem tekrarlanmıştır.

Beher içerisinde görünürde doğal organik madde kalmadığı görüldükten sonra bir sonraki aşamaya geçilmiştir. Bu aşamada amaç plastik yapıdaki maddelerin yüzdürülerek inorganik partiküllerden ayrılması ve toplanabilmesi için çözeltinin yoğunluğunun artırılmasıdır. Bunun için çözeltiliye üzere her 20 mL hacim için 6 g tuz (NaCl) ilave edilmiştir. Eklenen tuz çözünene kadar karışım 75°C'ye kadar ısıtılmıştır. Isıtıcıdan alınan beher, üstü alüminyum folyo ile kapalı şekilde soğumaya bırakılmıştır. Ardından beher içeriği birkaç kez saf su ile yıkanarak yoğunluk farkıyla ayırma amacıyla bir huni ve çıkışına bağlanmış hortum ile oluşturulmuş düzeneğe aktarılmıştır. Düzeneğin üzeri yine alüminyum folyo ile kapatıldıktan sonra inorganik katıların çöküp, plastik partiküllerin tamamının yüzmesi için bir gece beklemeye bırakılmıştır (Resim 3.22). Bekleme sonunda huni tabanına çökelen inorganik tanecikler hortum vasıtasıyla boşaltılmış, yüzen plastik

tanecikler ise bir miktar çözelti ile birlikte hunide kalıştır. Kalan çözelti 200 µm gözenekli çelik elekten geçirilerek plastik parçacıklar toplanmış ve eleğin üzeri alüminyum folyo ile kapatılarak ortam sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır (Resim 3.23). Yaklaşık 1-2 saat süren bekleme sonunda elekteki katı parçacıklar fırça yardımıyla mikroskopta incelenmek üzere petri kaplarına aktarılmıştır (Resim 3.24).



Resim 3.21 0,05 M $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yardımıyla peroksit ile ıslak oksidasyon işlemi



Resim 3.22 Yoğunluk farkı ile ayırma ve bekletme işlemi



Resim 3.23 Elekte kurutulan katı parçacıklar



Resim 3.24 Katı parçacıkları petri kabına alma işlemi

3.4 Mikroskopik İnceleme

Yukarıda açıklanan ön işlemlerden geçirilen örnekler mikroplastiklerin tanımlanması, miktar ve özelliklerinin tespiti için Euromex-Novex AR-Stereo 64.220 model stereomikroskop altında incelenmiş ve görüntülenmiştir.

3.5 Deneysel Çalışma Programı

Kızılırmak'ın Nevşehir il sınırları içerisindeki kesiminde 3 noktadan ve Kırşehir il sınırları içerisindeki kesiminde 2 noktadan, iki farklı yöntemle alınan örnekler laboratuvar ortamında yine iki farklı önışlem uygulanmış, son aşamada mikroskopik inceleme ile mikroplastik varlığı ve türleri incelenmiştir. Tüm örnekleme ve önışlemler Tablo 3.1'de özetlenmiştir. Tablodan görülebileceği gibi örnekleme için elek ve kepçe kullanılan iki yöntem, önışlem içinse oksidasyon + filtrasyon ve katalizörlü oksidasyon + yoğunluk farkı ile ayırma olmak üzere yine iki farklı yöntem denenmiştir. Örneklemede ve önışlemede farklı yöntemler uygulanmasının nedeni; literatürde, akarsularda yapılmış mikroplastik araştırmalarının fazla sayıda olmaması ve mevcut çalışmalarda da farklı yöntemler uygulanmış olması, genel kabul gören belirli yöntemler bulunmamasıdır. Bu nedenle çalışmada sadece Kızılırmak'taki mikroplastik kirliliğinin tespiti değil, bunun için gerekli olan, mikroplastikleri en verimli şekilde yakalayabilecek örnekleme ve en net şekilde görüntülemeyi sağlayacak önışlem yöntemleri de araştırılmıştır. Ancak her noktada ve alınan her örnekte tüm örnekleme ve önışlem yöntemleri karşılaştırmalı olarak uygulanamamıştır. Çünkü kepçe ile örnekleme yapılabilmesi için numune alınan noktada akıntı olması gereklidir, fakat akarsu üzerinde bulunan regülatörler nedeniyle bazı noktalarda akıntı olmaması kepçeyle örnekleme için uygun değildir. İlk örneklerde uygulanan oksidasyon + filtrasyon önışlemleri ise mikroskopta net görüntü alınması için yeterli ayrıştırmayı sağlamadığından, sonraki örneklerde sadece katalizörlü oksidasyon + yoğunluk ile ayırma yöntemiyle devam edilmiştir.

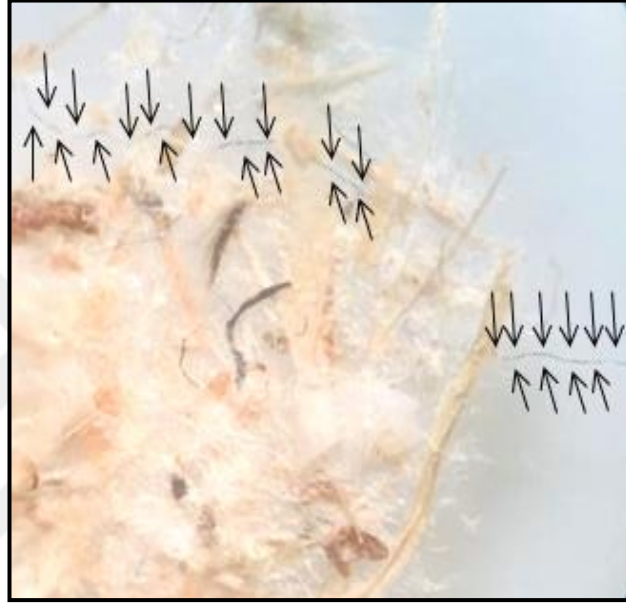
Tablo 3.1 Deneysel çalışma programı

Örnek kodu	Örnekleme noktası	Örnekleme yöntemi	Önışlem yöntemi
N1-E-Ö2	Nevşehir – 1. İstasyon	Elek	Katalizörlü oksidasyon + Yoğunluk ile ayırma
N2-K-Ö1	Nevşehir – 2. İstasyon	Kepçe	Oksidasyon + Filtrasyon
N2-E-Ö1	Nevşehir – 2. İstasyon	Elek	Oksidasyon + Filtrasyon
N3-E-Ö2	Nevşehir – 3. İstasyon	Elek	Katalizörlü oksidasyon + Yoğunluk ile ayırma
K1-E-Ö2	Kırşehir – 1. İstasyon	Elek	Katalizörlü oksidasyon + Yoğunluk ile ayırma
K2-E-Ö2	Kırşehir – 2. İstasyon	Elek	Katalizörlü oksidasyon + Yoğunluk ile ayırma
K2-K-Ö2	Kırşehir – 2. İstasyon	Kepçe	Katalizörlü oksidasyon + Yoğunluk ile ayırma

4. BÖLÜM

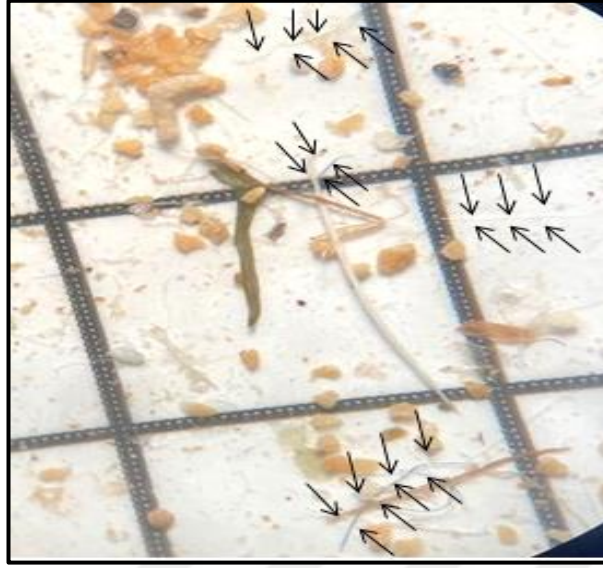
DENEYSEL BULGULAR

Nevşehir – Kızılırmak 1.istasyondan alınan numunenin (N1-E-Ö2) mikroskop görüntüsünde siyah renkli mikroplastik lifler gözlemlenmiştir (Resim 3.25).



Resim 3.25 Nevşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (N1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü

Nevşehir 2. istasyondan kepçe ve elek ile alınan numunelere (N2-K-Ö1 ve N2-E-Ö1) uygulanan ön işlemler sonrasında membran filtre üzerindeki kalıntılar mikroskop altında incelenmiştir. Mikroskopta görüntülenen katı parçacıklar oldukça çeşitlidir ve katı parçacıklar tanımlanırken mikroplastikle karıştırılabilecek birçok doğal malzeme mevcuttur. Resim 3.26’da görüldüğü gibi, çeşitli katı parçacıkların içerisinde tespit edilen mavi ve beyaz renkli 4 adet lif tipinde mikroplastik bulunmaktadır. Bu lifler küçük oklarla işaretlenmiştir.



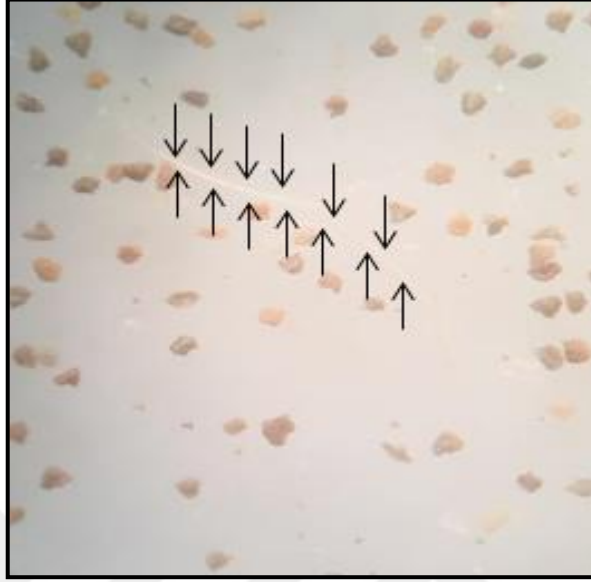
Resim 3.26 Nevşehir-Kızılırmak 2. istasyon elek numunesi (N2-E-Ö1) mikroskop görüntüsü

Mikroskop incelemelerinde Nevşehir 2. istasyondan alınan kepçe numunesinde (N2-K-Ö1) genel olarak beyaz renkli birbirine geçmiş mikroplastik lif ve siyah mikroplastik lifler gözlemlenmiştir (Resim 3.27).



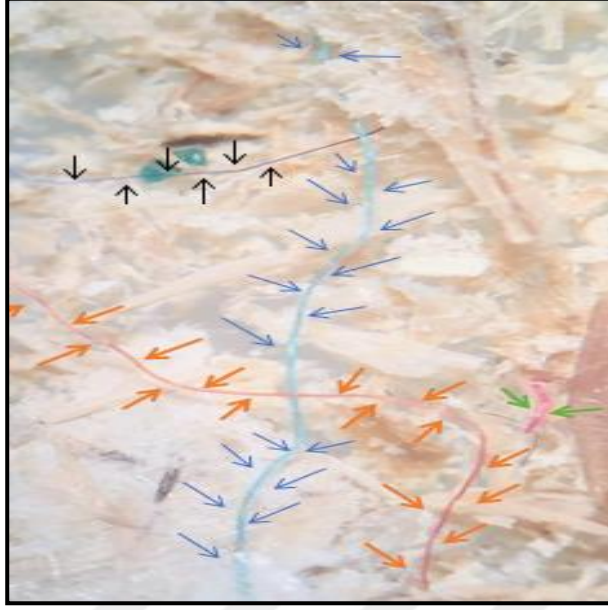
Resim 3.27 Nevşehir-Kızılırmak 2. istasyon kepçe numunesi (N2-K-Ö1) mikroskop görüntüsü

Nevşehir-Kızılırmak 3.istasyondan alınan numunede (N3-E-Ö2) şeffaf renkli lif tipi mikroplastikler gözlemlenmiştir (Resim 3.28).



Resim 3.28 N3-E-Ö2 Nevşehir-Kızılırmak 3.istasyondan alınan numunenin mikroskop görüntüsü

Kırşehir – Kızılırmak Nehri 1. istasyon elekten geçirilen yüzey suyu numunesinin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsünde (Resim 3.29 ve 3.30) mavi, kırmızı, turuncu, lacivert ve beyaz lif tipi mikroplastikler, siyah lif tipli mikroplastikler ve koyu mavi plastik parçacığı (Resim 3.31 ve 3.32), kırmızı film (naylon parçacığı) (Resim 3.32), açık mavi film (naylon parçacığı) (Resim 3.33), koyu yeşil plastik parçacığı (resim 3.34) görülmüştür.



Resim 3.29 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-1



Resim 3.30 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-2



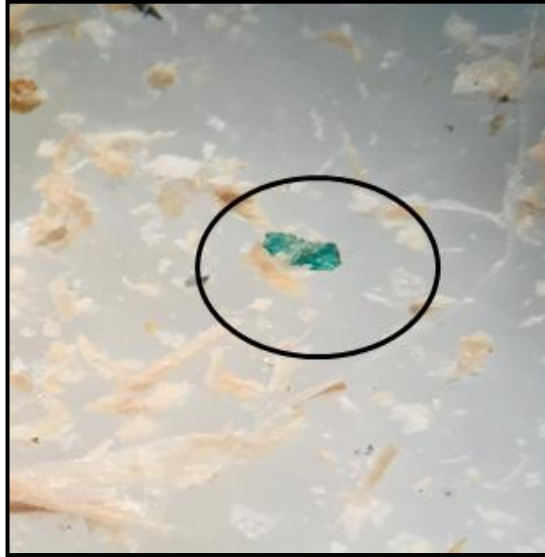
Resim 3.31 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-3



Resim 3.32 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-4



Resim 3.33 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-5



Resim 3.34 Kırşehir-Kızılırmak 1. istasyondan alınan numunenin (K1-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-6

K2-E-Ö2 Kırşehir – Kızılırmak Nehri 2. istasyon elekten geçirilen yüzey suyu numunesinin mikroskop görüntüsünde kırmızı plastik parçalı mikroplastik (resim 3.35) ve sarı plastik parçalı (resim 3.36) mikroplastik görülmüştür.

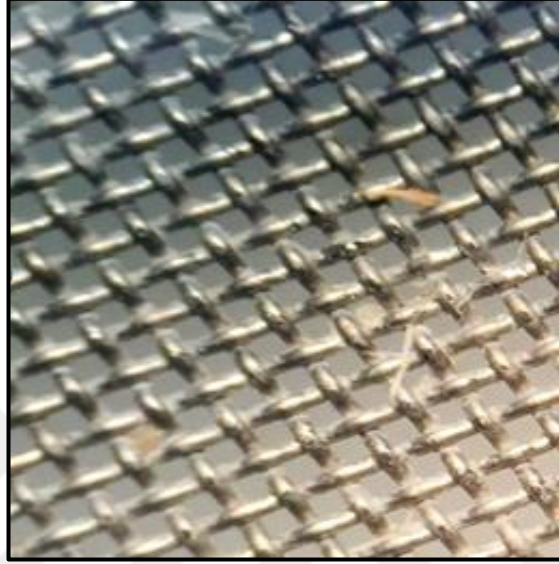


Resim 3.35 Kırşehir-Kızılırmak 2. istasyon elek numunesi (K2-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-1



Resim 3.36 Kırşehir-Kızılırmak 2. istasyon elek numunesi (K2-E-Ö2) mikroskop görüntüsü-2

Kırşehir-Kızılırmak K2-K-Ö2 2. istasyon kepçe numunesinin mikroskop görüntüsünde elekten petri kabına aktarılabilecek kadar dahi hiç mikroplastik görülmemiştir (Resim 37).



Resim 3.37 Kırşehir-Kızılırmak 2. istasyon kepçe numunesi (K2-K-Ö2) mikroskop görüntüsü

Tablo 4.1 İncelen numunelerin alınma yöntemi, laboratuvar yöntemi ve mikroskop görüntü sonuçları

Numune Alın Yeri	Numune Alın Şekli	Uygulanan Ön işlem	Bulgular
N1-E-Ö2	Elek	2.Yöntem Yoğunluk Ayırma	Siyah Lif Tipli Mikroplastikler
N2-K-Ö1	Kepçe	1.Yöntem Filtrasyon	Siyah Lif ve Beyaz Lif Tipli Mikroplastikler
N2-E-Ö1	Elek	1.Yöntem Filtrasyon	Mavi Lif ve Beyaz Lif Tipli Mikroplastikler
N3-E-Ö2	Elek	2.Yöntem Yoğunluk Ayırma	Şeffaf Renkli Lif Tipli Mikroplastik
K1-E-Ö2	Elek	2.Yöntem Yoğunluk Ayırma	Mavi Lif, Lacivert Lif, Kırmızı Lif, Beyaz Lif, Siyah Lif ve Turuncu Lif; Mavi Film ve Kırmızı Film; Koyu Yeşil Plastik Parçası Tipli Mikroplastikler
K2-E-Ö2	Elek	2.Yöntem Yoğunluk Ayırma	Kırmızı Plastik Parça ve Sarı Plastik Parça Tipli Mikroplastikler
K2-K-Ö2	Kepçe	2.Yöntem Yoğunluk Ayırma	Mikroplastik gözlenmemiştir.

5.BÖLÜM

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada Kızılırmak'ta mikroplastiklerin tespiti amacıyla numunenin elekten süzülmesi ve akarsuyun akıntısına karşı belirli süre kepçenin su içerisinde tutulması şeklinde iki farklı örnekleme yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan iki numune alım metodundan ilki olan, Vermaire ve arkadaşlarının nehirler üzerinde yaptığı çalışmalarda kullandıkları ve belirli miktarda (bu çalışmada 100 L) nehir suyunun 200 µm gözenekli elekten süzülmesi esasına dayanan yöntem ile elde edilen örneklerin tamamında çeşitli özelliklerde mikroplastikler tespit edilmiştir [110].

Kepçe ile yapılan örnekleme üzerinde gözenek büyüklüğü 500 µm olan ağ bulunan örnekleme kepçesi kullanılmıştır. Ancak bu örneklerin ön işlemler sonrası mikropkobik incelemelerinde mikroplastığe rastlanmamıştır. Dolayısıyla numune alınan noktalar itibariyle çalışma alanında 500 µm üzerinde mikroplastik bulunmadığı kanısına varılmıştır. Bu durumda ilk örnekleme yönteminin akarsularda mikroplastiklerin yakalanabilmesi ve tespit edilebilmesi açısından daha etkili olduğu söylenebilir.

Çalışmada örneklere uygulanan iki farklı ön işlemden membran filtreden filtrasyona dayanan ilkinde filtre üzerinde kalan yüksek miktardaki çeşitli katı maddelerin arasında hiç mikroplastik tespit edilememiştir. Bu nedenle sonraki çalışmalarda diğer yöntem olan ve ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresinin (NOAA) tarafından hazırlanan kılavuzdaki yöntem uygulanmıştır [111]. Bu yöntemde akarsudan alınan örnekler oksidan olarak hidrojen peroksit ve katalizör olarak demir sülfatın kullanıldığı oksidasyon işleminden sonra sodyum klorür ilavesi ile örnekteki mikroplastikler ve diğer maddeler yoğunluk farkından yararlanılarak ayrılmaktadır. Böylece mikroskobik inceleme için yabancı maddelerden büyük ölçüde arındırılmış bir örnek elde edilmekte ve mikroplastikler daha rahat bir şekilde seçilebilmektedir.

Aksakal ve diğ. (2021); yaptığı çalışmada Çeşme-İldır kıyılarında fiber yoğunluklu mikroplastik varlığı tespit etmişlerdir. İnceledikleri bölgede balıkçılık faaliyetlerinden kaynaklanan ikincil mikroplastik kirlilik faktörü olan ağ, halat, çuval gibi kalıntıların fiber tipli mikroplastik kirliliğine neden olabileceği sonucuna varmışlardır. Bu çalışmaya

nispeten Nevşehir-Kızılırmak yüzey sularındaki örneklemelerin mikroskop görüntülerinde gözlemlenen fiber tipli mikroplastiklerin geçtiği bu çalışma alanlarında görülen eskimiş balık ağlarından ve kontrolsüz -amatörce yapılan balıkçılık faaliyetlerinden kaynaklanmış olabileceği tahmin edilmektedir [112].

Nevşehir 1, 2 ve 3. istasyonlardan alınan numunelerde (N1-E-Ö2, N2-K-Ö1, N2-E-Ö1) sadece farklı renklerde ikincil kaynaklı mikroplastik grubuna giren mikro fiberler gözlenmiştir. Kırşehir 1. ve 2. istasyonlardan alınan numunelerde (K1-E-Ö2 ve K2-E-Ö2) görülen ikincil kaynaklı mikroplastik çeşitleri ise film, mikrofiber ve plastik parçacıklardır. Kırşehir - Nevşehir Kızılırmak yüzey suyundan alınan örneklemelerin mikroskop görüntülerinden elde edilen sonuçlara göre en sık beyaz rengi olmak üzere mavi, siyah, turuncu, kırmızı, koyu yeşil, sarı ve lacivert renklerinde mikroplastiklere rastlanmış, 7 adet numunenin 5'inde lif tipli mikroplastiklerin olduğu ve birinde ise hiç mikroplastik olmadığı tespit edilmiştir.

Elde edilen deneysel sonuçlara göre plastik parçacığı, naylon parçacığı ve liften başka mikroplastik çeşidine rastlanmadığından, bu çalışmada sadece ikincil kaynaklı mikroplastikler tespit edildiği, birincil mikroplastik bulunamadığı söylenebilir. Ayrıca en fazla miktarda ve en çok mikroplastik çeşidine, belediye atıksu arıtma tesisinin deşarj edildiği Kılıçözü Çayı'ndan alınan numunede (Kırşehir 1. istasyonda) rastlanmıştır. Bu noktadaki mikroplastik kirliliğinin başlıca kaynağının atıksu arıtma tesisi olduğu düşünülmektedir. Bu düşünceyi destekleyen bir çalışmada atıksu arıtma tesisi deşarjlarındaki mikroplastik konsantrasyonlarının yüzey sularına etkisini araştırılmış; ikincil mikroplastikler niceliksel boyut kategorilerinde baskın tür olduğu, mikro boyuttaki plastiklerin atıksu arıtma tesisleri aracılığıyla su ekosistemlerine de ulaşabildiği ve nehir suyuna önemli derecede etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Raritan Nehri üzerindeki dört büyük belediye atıksu arıtma tesisinin menba ve mansap taraflarından toplanan örneklerde yapılan bu çalışmada, tez kapsamındaki gibi birçok numunede lifler gözlenirken, sayılmasındaki zorluk nedeniyle lifler için kantitatif analiz yapılamamıştır [100]. Bu çalışma örneğindeki gibi birçok araştırma sonuçlardan dolayı tez kapsamında, lif tipli ve ikincil kaynaklı mikroplastiklerin Kızılırmak'ta yoğun olmasının sebebinin, nehre numuna noktalarından önce yapılan yapılan atıksu arıtma tesisi deşarjları olduğu düşünülmektedir.

Türkiye’de atıksu deşarjlarının %65’i nehirlere yapıldığından, ülkemizdeki nehirler ve nehirlerin döküldüğü denizler yadsınamaz bir mikroplastik kirliliği ile karşı karşıyadır. Kızılırmak sularına karışan AAT’lerden gelen bu mikroplastikler ise Karadeniz’e kadar ulaştığından, Karadeniz’in suları mikroplastik kirliliği açısından tehdit altındadır [105, 113]

Mikrofiberler dünyada da su ortamında yapılan çalışmalar oldukça yoğundur ki Antarktika’nın Ross Denizinde dahi en sık rastlanan plastik döküntü türünün lif tipli mikroplastik olduğu görülmüştür. Bu yüzden dünyada mikrofiber veya mikroliflerin geldiği noktalar olan nehirlere odaklanılmıştır [114, 115].

Kızılırmak sularının Karadeniz’e döküldüğü bölgedeki mikroplastik kirliliği üzerine yapılan çalışmalara göre Kızılırmak gibi nehirler Karadeniz’e mikroplastik taşıyan ana kaynaklardan biri olarak kabul edilmektedir. Örneğin Türkiye’de Aytan ve arkadaşlarının Güneydoğu Karadeniz’de mikroplastik kirliliğinin güncel durumu ile ilgili yaptığı çalışma, en yüksek miktardaki mikroplastik Kızılırmak’ın Samsun kesimindeki nehir ağzında yüzey sularında tespit edilirken, en düşük miktar Ordu Melet sularında bulunmuştur. Parçacıklar çalışma bölgesinde en sık (%49) rastlanılan tipte mikroplastik türü olurken, film (%31.3), fiber (% 17.7), köpük (% 1.9) ve boncuklar (% 0.1) da tespit edilmiştir. Yüzey sularında 12 farklı renkte mikroplastik tespit edilmiş, en sık rastlanılan beyaz (%34.3), takip eden renkler ise şeffaf (% 28.9) ve mavi (% 11.8) olmuştur [106].

Bu çalışmada numuneler belirli periyotlarda alınmamasına rağmen deneysel sonuçlara dayanan değerlendirmeler Kızılırmak sularının mikroplastik kirliliği açısından tehlike altında olduğu yönündedir. Ayrıca Kızılırmak sularına atıksu arıtma tesisi çıkış suyu deşarjında kaynaktan mikroplastik kirliliğinin minimize edilmesi için, belirli periyotlarda tesiste giriş-çıkış sularında mikroplastik konsantrasyonun kontrolünün yapılması gerektiği ön görülmektedir. Örneğin Mersin’de yapılan bir çalışmada ikincil ve üçüncül arıtım uygulayan 3 tesisin giriş ve çıkış noktalarından aylık periyotlarda bir yıl süre boyunca örnekler alınmıştır. Sonuçlara göre Silifke atıksu arıtma tesisinin giriş suyundaki mikroplastikleri yağmurlu dönemlerde artmıştır. Fiber tipindeki mikroplastiklerin toplamın %79’unu oluşturduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar arıtma tesislerinin Kuzeydoğu Akdeniz’deki başlıca mikroplastik kaynaklarından biri olduğunu göstermektedir [116].

Bu örnek çalışma gibi Kızılırmak için yapılacak sonraki çalışmalarda numunelerin mevsimsel veya aylık periyotlarda alınması gerekmektedir.



5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mikroplastiklerin doğal yaşam ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin büyüklüğü, yapılan çalışmalarla her geçen gün daha iyi anlaşılmaktadır. Atıksulardan en ücra bölgelerdeki göllere ve yeraltısularına kadar, mikroplastiklere neredeyse her su ortamında rastlanmakta ve bu da tehlikenin büyüklüğünü ortaya koymaktadır. Akarsular ise noktasal ve yayılı kaynaklardan gelen mikroplastikleri hem deniz ve göllere taşıyan hem de içme ve sulama suyu kaynağı olarak kalite kaybına uğrayan başlıca su ortamlarıdır. Bu nedenle akarsulardaki mikroplastik kirliliğinin araştırılarak boyutlarının ortaya konması önemlidir.

Bu çalışmada ülkemizin en büyük havzaya sahip akarsuyu olan Kızılırmak'ın Nevşehir ve Kırşehir il sınırları içerisinde kalan kesimi için mikroplastik kirliliği araştırılmıştır. Diğer taraftan, geçmişi çok eskiye dayanmayan mikroplastik araştırmalarında örnekleme ve analiz yöntemlerinde de çalışmadan çalışmaya farklılıklar görülmektedir. Akarsularda yapılan araştırmalar ise oldukça sınırlıdır. Bu nedenle farklı örnekleme ve analiz yöntemleri de uygulanarak karşılaştırma yapılması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda, Kızılırmak'ın Nevşehir kesiminde 3, Kırşehir kesiminde 2 nokta olmak üzere, toplam 5 noktada su ortamından örnekleme yapılmış; örnekler alınırken kepçe ve elek kullanılan iki farklı yöntem uygulanmıştır. Ayrıca mikroskopta incelemeye hazırlamak için örnekler, oksidasyon-filtrasyon ve katalizörlü oksidasyon-yoğunluk farkı ile ayırma olmak üzere iki farklı ön işleme tabi tutulmuştur.

Örneklemede kullanılan kepçenin ağ gözenek boyutu 500 µm, elek ise 200 µm olup; mikroskopta inceleme sonrasında kepçe ile alınan örneklerde mikroplastik tespit edilemezken, elekten süzülen örneklerde ise çeşitli boyut, tür ve renkte mikroplastikler görüntülenmiştir.

Diğer taraftan, oksidasyon-filtrasyon ön işleminde geriye kalan yoğun malzeme içerisinde mikroplastikler net bir şekilde ayırt edilemezken, katalizörlü oksidasyon-

yoğunluk ile ayırma sonrasında mikroplastikler çok daha rahat ve net bir şekilde tespit edilebilmiştir.

Çalışmanın yöntemler açısından ortaya koyduğu sonuçlara göre, akasularda mikroplastik tespiti için gerek örnekleme, gerekse önişlem yöntemlerinin geliştirilmesi ve standartlaştırılması gerektiği görülmüştür. Örnekleme ve analizlerde daha ileri teknolojilerin kullanılması ve verilerin karşılaştırılabilir olmasına yönelik çalışmaların önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Kızıllırmak'ın mikroplastik kirliliği açısından sonuçlar değerlendirildiğinde, tespit edilen mikroplastiklerin şekilsel olarak film (naylon parçacığı), plastik parçaları (fragment) ve çoğunluk olarak da lif tipli olduğu görülmüştür. Kaynak olarak ise mikroboncuk veya pelet gibi birincil kaynaklı mikroplastiklere rastlanmazken, ikincil kaynaklı mikroplastiklerin varlığı tespit edilmiştir. Ancak mikroplastiklerin kaynaklarının daha net anlaşılabilmesi için boyut, şekil ve renk gibi fiziksel özelliklerinin yanısıra, yapı analizleri de büyük önem taşımaktadır. Bunun içinse analiz edilebilir miktarda mikroplastik elde edilmesi ve FTIR gibi analiz teknolojilerinden yararlanılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında laboratuvar olanaklarının kısıtlı oluşu ve çok az miktarda mikroplastik elde edilebilmesi nedeniyle yapı analizleri gerçekleştirilememiştir.

Çalışmada atıksu arıtma tesisinin deşarjına yakın örnekleme noktasında, diğer noktalara göre daha çok mikroplastik olduğu gözlemlenmiştir. Örneklerde en çok rastlanan lif türündeki mikroplastiklerin çoğunlukla sentetik tekstil ürünlerinin çamaşır makinelerinde yıkanmasından kaynaklandığı ve bunların karıştığı evsel atıksuların deşarjı ile akarsuya ulaştığı, ayrıca kontrolsüz ve bilinçsizce yapılan balıkçılık faaliyetleri sonucu su ortamında kalan balık ağlarından kaynaklı olduğu tahmin edilmektedir. Nehirlere ulaşan bu tür mikroplastik kirliliğinin önlenmesi için atıksu arıtma tesislerinde membran reaktörler gibi ileri derecede arıtım teknolojilerinin uygulanması, mikroplastik giderim mekanizmalarının geliştirilmesi ve çamaşır makinelerinde filtre kullanılması önerilebilir.

Akarsulardaki mikroplastik kirliliğinin en önemli kaynağı olduğu düşünülen atıksu arıtma tesislerinin bu etkisini araştıran çalışmaların arttırılması, mikroplastik kirliliğinin azaltılmasına yönelik çalışmalara da yön verecektir. Bu tez çalışması kapsamında

Kızılırmak'ta sınırlı bir bölgede elde edilen sonuçların genel durum açısından bir fikir verdiği ve mikroplastik kirliliğinin diğer akarsularımızı da kapsayacak şekilde daha ayrıntılı ve sistematik olarak araştırılması gerektiğini gösterdiği söylenebilir. Bu çalışmalarda seçilecek noktalardan, mevsimsel değişimleri de ortaya koyacak bir çalışma programı ile örneklemeler yapılmalıdır.

Ülkemizde atıksu arıtma tesislerine dair ulusal mevzuatlara mikroplastik parametresinin dahil edilmesiyle akarsulardaki mikroplastik kirliliği sorununun kontrol altına alınması gerekmektedir.

Mikroplastik kirliliğinin ana unsurları ve mikroplastiklerin doğal su kaynaklarına ulaşmasıyla oluşabilecek çevre ve insan sağlığı açısından tehlikeler dikkate alınarak, plastik kullanımı konusunda basın yayın yoluyla kamunun bilinçlendirilmesi ve bu konuda okullarda eğitim verilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Hurley, R., Woodward, J., & Rothwell, J. J., "Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding", *Nature Geoscience*, 11(4), 251-257, 2018.
2. Blackburn, K., & Green, D., "The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown", *Ambio*, 1-13, 2021.
3. Lehtiniemi, M., Hartikainen, S., N kki, P., Engström- st, J., Koistinen, A., & Setälä, O., "Size matters more than shape: Ingestion of primary and secondary microplastics by small predators", *Food Webs*, 17, e00097, 2018.
4. Kershaw, P. J., & Rochman, C. M. "Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part 2 of a global assessment", *Reports and Studies-IMO/FAO/Unesco-IOC/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP)*, No. 93, 2015.
5. Frias, J.P.G.L., Nash, R., "Microplastics: Finding a consensus on the definition", *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145-147, 2019.
6. Yurtsever, M., "Mikroplastikler'e genel bir bakış", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 17(50), 68-83, 2015.
7. Ceylan B., "Atıksulardaki mikroplastik kirliliğinin incelenmesi", *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 2017.
8. Coffin S., Brander S., "Microplastics in the environment: from research to regulation", *Public Interest Environmental Law Conference*. DOI:10.13140/RG.2.2.29504.56320, 2020.
9. Arı M.,  g t S., "Mikroplastikler ve  vresel etkileri", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9.864-877, 2021.
10. Aras S., İpek G. G., "Kızılırmak Nehri (Nevşehir) yüzey suyu kalitesinin coğrafi bilgi sistemleri ile değerlendirilmesi", *Kahramanmaraş Sütü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(2):48-57, DOI: 10.17780/ksujes.484299, Haziran 2019.

11. Kershaw, P. J., ed, “Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment”, *Reports and Studies (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection)*, GESAMP, No. 90, 96, 2015.
12. E. Besseling, A. Wegner , E. M. Foekema , M. J. Van den Heuvel-Greve ve A. A. Koelmans, “Effects of microplastic on fitness and pcb bioaccumulation by the lugworm arenicola marina”, *Environmental Science&Technology*, vol. 47, no. 1, s. 593-600, 2012.
13. Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson RC, Thiel M, ‘‘Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification’’, *Environmental Science & Technology*, 46(6), s.3060–3075, 2012.
14. Webb, H. K., Crawford, R. J., Sawabe, T., & Ivanova, E. P., “Poly (ethylene terephthalate) polymer surfaces as a substrate for bacterial attachment and biofilm formation”, *Microbes and Environments*, 0812170036-0812170036, 2008.
15. Lusher, A.L.; Hollman, P.C.H.; Mendoza-Hill, J.J., “Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety”, *FAO Fisheries and Aquaculture Technical s. 615*, Rome, Italy, 2017.
16. Kumar, M., Xiong, X., He, M., Tsang, D. C., Gupta, J., Khan, E., & Bolan, N. S., “Microplastics as pollutants in agricultural soils”, *Environmental Pollution*, 265, 114980, 2020.
17. Tutoğlu N., ‘‘Sucul ortamdaki mikroplastiklerin insan sağlığına etkisi ve arıtma yöntemlerinin araştırılması’’, *Tarım Ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi*, Ankara, 2019.
18. Sevensan, F. ve Vaizoğlu, S.A., “Pet ve geri dönüşümü”, *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 6 (4), 307-312, 2007.
19. Crawford, C. B., & Quinn, B., “Microplastics, standardisation and spatial distribution”, *Microplastic Pollutants*, 101–130. doi:10.1016/b978-0-12-809406-8.00005-0, 2017.

20. Bakkaloğlu, E., “Atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin akıbeti ve taşınımı”, *Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi*, 2019.
21. Chinfak, N., Sompongchaiyakul, P., Charoenpong, C., Shi, H., Yeemin, T., & Zhang, J, ‘Abundance, composition, and fate of microplastics in water, sediment, and shellfish in the Tapi-Phumduang River system and Bandon Bay, Thailand’’, *Science of The Total Environment*, 2021.
22. Esmeray, E. ve Armutcu, C., “Mikroplastikler, çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri ve analiz yöntemleri”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* , 8 (1) , 839-868, 2020. DOI: 10.29130/dubited.586453
23. Silva, A. B., Bastos, A. S., Justino, C. I., da Costa, J. P., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. A., “Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry-A review”, *Analytica Chimica Acta*, 1017, 1-19, 2018.
24. Schmid, K., et al. “First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary”, *Marine Pollution Bulletin*, 133, 814-821, 2018.
25. Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbins J., Janssen, C.R., “Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects”, *Marine Environmental Research*, 111, 5-17, 2015.
26. Lambert S., Sinclair CJ., Boxall ABA., “Occurrence, degradation and effects of polymer based materials in the environment”, *Rev Environ Contam Toxicol*, 227:1–53, 2014.
27. Venghaus, D., & Barjenbruch, M., ‘Microplastics in urban water management’’. *Technical Transactions*, 114(1), 137-146, 2017.
28. Çağlayan H. S., & Kopuz Ü. A. ‘Mikroplastiklerin deniz çevresinde neden olduğu etkiler’’. *Doğanın Sesi Dergisi*, (6), 44-56, 2020.
29. Pan, Z., Sun, Y., Liu, Q., Lin, C., Sun, X., He, Q., ... & Lin, H., “Riverine microplastic pollution matters: a case study in the Zhangjiang River of Southeastern China”, *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111516, 2020.
30. Mercogliano, R., Avio, C. G., Regoli, F., Anastasio, A., Colavita, G., & Santonicola, S., “Occurrence of microplastics in commercial seafood under the

- perspective of the human food chain. A review”, *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 68(19), 5296-5301, 2020.
31. Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M., “Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web”, *Environmental Pollution*, 185, 77-83, 2014.
 32. Internet: “Microplastics found in humans”, <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/news-plastics-microplastics-human-feces>
 33. Revel, M., Châtel, A., & Mouneyrac, C., “Micro (nano) plastics: A threat to human health?”, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 17-23, 2018.
 34. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S., “Microplastics as contaminants in the marine environment: a review”, *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597, 2011.
 35. Prata, J. C., “Airborne microplastics: consequences to human health?”, *Environmental Pollution*, 234, 115-126, 2018.
 36. Lu, L., Luo, T., Zhao, Y., Cai, C., Fu, Z., & Jin, Y., “Interaction between microplastics and microorganism as well as gut microbiota: A consideration on environmental animal and human health”, *Science of the Total Environment*, 667, 94-100, 2019.
 37. Bamai, Y. A., Shibata, E., Saito, I., Araki, A., Kanazawa, A., Morimoto, K., ... & Kishi, R., “Exposure to house dust phthalates in relation to asthma and allergies in both children and adults”, *Science Of The Total Environment*, 485, 153-163, 2014.
 38. Hartmann, N. B., Rist, S., Bodin, J., Jensen, L. H., Schmidt, S. N., Mayer, P., ... & Baun, A., “Microplastics as vectors for environmental contaminants: Exploring sorption, desorption, and transfer to biota”, *Integrated Environmental Assessment And Management*, 13(3), 488-493, 2017.
 39. Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B., “Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series”, *Annals of internal medicine*, 171(7), 453-457, 2019.

40. Yoo, J. W., Doshi, N., & Mitragotri, S., “Adaptive micro and nanoparticles: temporal control over carrier properties to facilitate drug delivery”. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 63(14-15), 1247-1256, 2011.
41. Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., ... & Giorgini, E., “Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta”, *Environment International*, 146, 106274, 2021.
42. Arnaud, A., de Santi, P. P., Garbe, L., Payan, H., & Charpin, J., “Polyvinyl chloride pneumoconiosis”, *Thorax*, 33(1), s. 19-25, 1978.
43. Lilis, R., Anderson, H., Nicholson, W. J., Daum, S., Fischbein, A. S., & Selikoff, I. J., “Prevalence of disease among vinyl chloride and polyvinyl chloride workers” *Annals of the New York Academy of Sciences*, 246(1), 22-41, 1975.
44. Rochman, C.M., “Microplastics research – from sink to source”, *Science*, 360 (6384), s. 28–29, 2018.
45. Rillig M. C., “Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil?.” *Environ. Sci. Technol.*, 46, 12, 6453–6454, 2012.
46. Zhu, F., Zhu, C., Wang, C., “Occurrence and Ecological Impacts of Microplastics in Soil Systems: A Review”. *Bull Environ Contam Toxicol* 102, 741–749, 2019.
47. Zhu, D., Chen, Q. L., An, X. L., Yang, X. R., Christie, P., Ke, X., ... & Zhu, Y. G., “Exposure of soil collembolans to microplastics perturbs their gut microbiota and alters their isotopic composition”, *Soil Biology and Biochemistry*, 116, 302-310, 2018.
48. Fuller S., Gautam A., “A procedure for measuring microplastics using pressurized fluid extraction”, *Environ Sci Technol* 50:5774–5780, 2016.
49. Zhu, B. K., Fang, Y. M., Zhu, D., Christie, P., Ke, X., & Zhu, Y. G., “Exposure to nanoplastics disturbs the gut microbiome in the soil oligochaete *Enchytraeus crypticus*”, *Environmental Pollution*, 239, 408-415, 2018.
50. Rodriguez-Seijo, A., Lourenço, J., Rocha-Santos, T. A. P., Da Costa, J., Duarte, A. C., Vala, H., & Pereira, R., “Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché”, *Environmental Pollution*, 220, 495-503, 2017.

51. Qi Y., Yang X., Pelaez AM., Lwanga EH., Beriot N., Gertsen H., Garbeva P., Geissen V., “Macro-and micro-plastics in soil-plant system: effects of plastic mulch film residues on wheat (*Triticum aestivum*) growth”, *Science of the Total Environment*, 645:1048–1056, 2018.
52. Hodson, M. E., Duffus-Hodson, C. A., Clark, A., Prendergast-Miller, M. T., & Thorpe, K. L., “Plastic bag derived-microplastics as a vector for metal exposure in terrestrial invertebrates”, *Environmental Science & Technology*, 51(8), 4714-4721, 2017.
53. Rillig, M. C., Ziersch, L., & Hempel, S., “Microplastic transport in soil by earthworms”, *Scientific Reports*, 7(1), 1-6, 2017.
54. Wang, J., Liu, X., Li, Y., Powell, T., Wang, X., Wang, G., & Zhang, P., “Microplastics as contaminants in the soil environment: A mini-review”, *Science Of The Total Environment*, 691, 848-857, 2019.
55. de Souza Machado, A. A., Lau, C. W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J. B., Faltin, E., ... & Rillig, M. C., “Microplastics can change soil properties and affect plant performance”, *Environmental Science & Technology*, 53(10), 6044-6052, 2019.
56. Bandmann, V., Müller, JD, Köhler, T., & Homann, U., "Uptake of fluorescent nano beads into BY2-cells involves clathrin-dependent and clathrin-independent endocytosis." *FEBS letters*, 586.20 (2012): 3626-3632., 2012.
57. Qi, Y., Yang, X., Pelaez, A. M., Lwanga, E. H., Beriot, N., Gertsen, H., ... & Geissen, V., “Macro-and micro-plastics in soil-plant system: effects of plastic mulch film residues on wheat (*Triticum aestivum*) growth”, *Science of the Total Environment*, 645, 1048-1056, 2018.
58. McCormick, A., Hoellein, T. J., Mason, S. A., Schluep, J., & Kelly, J. J., “Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river”, *Environmental Science & Technology*, 48(20), 11863-11871, 2014.
59. Keswani, A., Oliver, D. M., Gutierrez, T., & Quilliam, R. S., “Microbial hitchhikers on marine plastic debris: human exposure risks at bathing waters and beach environments”, *Marine Environmental Research*, 118, 10-19, 2016.

60. Nomura, T., Tani, S., Yamamoto, M., Nakagawa, T., Toyoda, S., Fujisawa, E., ... & Konishi, Y., “Cytotoxicity and colloidal behavior of polystyrene latex nanoparticles toward filamentous fungi in isotonic solutions”, *Chemosphere*, 149, 84-90, 2016.
61. Yuan, J., Ma, J., Sun, Y., Zhou, T., Zhao, Y., & Yu, F., “Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics”, *Science of the Total Environment*, 715, 136968, 2020.
62. Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A., “Microplastics in seafood and the implications for human health”, *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375-386, 2018.
63. Kirstein, I. V., Kirmizi, S., Wichels, A., Garin-Fernandez, A., Erler, R., Löder, M., & Gerdt, G., “Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles”, *Marine Environmental Research*, 120, 1-8, 2016.
64. Vroom, R. J., Koelmans, A. A., Besseling, E., & Halsband, C., “Aging of microplastics promotes their ingestion by marine zooplankton”, *Environmental Pollution*, 231, 987-996, 2017.
65. Sjollem, S. B., Redondo-Hasselerharm, P., Leslie, H. A., Kraak, M. H., & Vethaak, A. D., “Do plastic particles affect microalgal photosynthesis and growth?”, *Aquatic Toxicology*, 170, 259-261, 2016.
66. Brennecke, D., Ferreira, E. C., Costa, T. M., Appel, D., da Gama, B. A., & Lenz, M., “Ingested microplastics (> 100 µm) are translocated to organs of the tropical fiddler crab *Uca rapax*”, *Marine Pollution Bulletin*, 96(1-2), 491-495, 2015.
67. Zhao, S. J., Wang, H. Y., & Liu, J., “Influence of microplastics pollution on marine environment”, *Marine Sciences*, 33(3), 84-86, 2009.
68. Sussarellu, R., Suquet, M., Thomas, Y., Lambert, C., Fabioux, C., Pernet, M. E. J., ... & Huvet, A., “Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics”, *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 113(9), 2430-2435, 2016.
69. Ziková, A., Lorenz, C., Hoffmann, F., Kleiner, W., Lutz, I., Stöck, M., & Kloas, W., “Endocrine disruption by environmental gestagens in amphibians—A short

- review supported by new in vitro data using gonads of *Xenopus laevis*”, *Chemosphere*, 181, 74-82, 2017.
70. Blight, L. K., & Burger, A. E., “Occurrence of plastic particles in seabirds from the eastern North Pacific”, *Marine Pollution Bulletin*, 34(5), 323-325, 1997.
 71. Tanaka, K., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M. A., & Watanuki, Y., “Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics”, *Marine Pollution Bulletin*, 69(1-2), 219-222, 2013.
 72. Lu, S., Qiu, R., Hu, J., Li, X., Chen, Y., Zhang, X., ... & He, D., “Prevalence of microplastics in animal-based traditional medicinal materials: Widespread pollution in terrestrial environments”, *Science of The Total Environment*, 709, 136214, 2020.
 73. İnternet: “Mikroplastik Araştırma Grubu”, <https://mikroplastik.org/mikroplastik-nedir>
 74. Çelebi, H. , Bahadır, T. , Şimşek, İ. & Tulun, Ş., “Deterjan bazlı çamaşır makinesi atık suyunun YDA ve EoL analizi ile değerlendirilmesi”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21) , 275-284, 2021.
 75. Akarsu, C. , Kıdeyş, A. E. & Kumbur, H., “Evsel atık su arıtma tesislerinin sucül ekosisteme mikroplastik tehditi”, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi* , Volume: 74 Issue: 1.1,73-78, 2017.
 76. Tong, H., Jiang, Q., Hu, X., & Zhong, X., “Occurrence and identification of microplastics in tap water from China”, *Chemosphere*, 252, 126493, 2020.
 77. Sarkar, D. J., Sarkar, S. D., Das, B. K., Praharaj, J. K., Mahajan, D. K., Purokait, B., ... & Samanta, S., “Microplastics removal efficiency of drinking water treatment plant with pulse clarifier”, *Journal of Hazardous Materials*, 413, 125347, 2021.
 78. Boucher, J., Friot, D., “Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources”, *IUCN International Union for Conservation of Nature*, ISBN: 978-2-8317-1827-9, 2017.
 79. Aytan, Ü., Şentürk, Y., Esensoy, F. B., Öztekin, A., Ağırbaş, E., & Valente, A., “Microplastic pollution along the southeastern Black Sea”. *Marine Litter in the Black Sea*, 192-207, 2020.

80. Yurtsever, M., ‘‘Küresel plastik kirliliği nano-mikroplastik tehlikesi ve sürdürülebilirlik’’, *Çevre Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 171-197, 2018.
81. Laskar, N., & Kumar, U., ‘‘Plastics and microplastics: A threat to environment’’, *Environmental Technology & Innovation*, 14, 100352, 2019.
82. Katyal, D., Kong, E., & Villanueva, J., ‘‘Microplastics in the environment: impact on human health and future mitigation strategies’’, *Environmental Health Review*, 63(1), 27-31, 2020.
83. Germanov, E. S., Marshall, A. D., Bejder, L., Fossi, M. C., & Loneragan, N. R., ‘‘Microplastics: No Small Problem for Filter-Feeding Megafauna’’, *Trends in Ecology & Evolution*, 33(4), 227-232, 2018.
84. Andrady, A. L., ‘‘The plastic in microplastics: A review’’, *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12-22, 2017.
85. Wang, C., Xing, R., Sun, M., Ling, W., Shi, W., Cui, S., & An, L., ‘‘Microplastics profile in a typical urban river in Beijing’’, *Science of The Total Environment*, 743, 140708, 2020.
86. Venghaus, D. & Barjenbruch, M., ‘‘Microplastics in urban water management’’, *Technical Transactions*, 114(1) 137-146, 2017.
87. Pinto Da Costa, J., Rocha-santos, T., & Duarte, A. C., ‘‘The Environmental Impacts of Plastics and Micro-Plastics Use, Waste and Pollution: EU and National Measures’’, *European Parliament*, 2020.
88. Mani, T., Primpke, S., Lorenz, C., Gerdts, G., & Burkhardt-Holm, P., ‘‘Microplastic pollution in benthic midstream sediments of the Rhine River’’, *Environmental Science & Technology*, 53(10), 6053-6062, 2019.
89. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, ‘‘Deniz izleme Kılavuzları’’, ISBN: 978-605-5294-84-7, Ankara, 2017.
90. Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., ... & Schludermann, E., ‘‘The Danube so colourful: a potpourri of plastic litter outnumbered fish larvae in Europe's second largest river’’, *Environmental Pollution*, 188, 177-181, 2014.

91. Halfar J., Brožová K., Čabanová K., Heviánková S., Kašpárková A., Olšovská E., “Disparities in methods used to determine microplastics in the aquatic environment: a review of legislation, sampling process and instrumental analysis”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14):7608, 2021.
92. Kataoka, T., Nihei, Y., Kudou, K., & Hinata, H., “Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan”, *Environmental Pollution*, 244, 958-965, 2019.
93. Kumar, R., Sharma, P., Manna, C., & Jain, M., “Abundance, interaction, ingestion, ecological concerns, and mitigation policies of microplastic pollution in riverine ecosystem: A review”, *Science of The Total Environment*, 782, 146695, 2021.
94. He, B., Smith, M., Egodawatta, P., Ayoko, G. A., Rintoul, L., & Goonetilleke, A., “Dispersal and transport of microplastics in river sediments”, *Environmental Pollution*, 279, 116884, 2021.
95. Xu, Q., Xing, R., Sun, M., Gao, Y., & An, L., “Microplastics in sediments from an interconnected river-estuary region”, *Science of The Total Environment*, 729, 139025, 2020.
96. Huang, D., Tao, J., Cheng, M., Deng, R., Chen, S., Yin, L., & Li, R., “Microplastics and nanoplastics in the environment: macroscopic transport and effects on creatures”, *Journal of Hazardous Materials*, 407, 124399, 2021.
97. Cohen, J. H., Internicola, A. M., Mason, R. A., & Kukulka, T., “Observations and simulations of microplastic debris in a tide, wind, and freshwater-driven estuarine environment: the Delaware Bay”, *Environmental Science & Technology*, 53(24), 14204-14211, 2019.
98. Roex E., Vethaak D., Leslie H., Kreuk M.D., “Potential risk of microplastics in the fresh water environment”, *STOWA Technical Report, Amersfoort*, 2013.
99. Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O., “Solutions to microplastic pollution—Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment Technologies”, *Water research*, 123, 401-407, 2017.

100. Estahbanati S., Fahrenfeld N.L., “Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface water”, *Chemosphere*, 162:277-84, 2016.
101. Sadri, S. S., & Thompson, R. C., “On the quantity and composition of floating plastic debris entering and leaving the Tamar Estuary, Southwest England”, *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 55-60, 2014.
102. Kay, P., Hiscoe, R., Moberley, I. et al. ‘Wastewater treatment plants as a source of microplastics in river catchments’, *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 20264–20267, 2018.
103. Magni, S., Binelli, A., Pittura, L., Avio, C. G., Della Torre, C., Parenti, C. C., ... & Regoli, F., “The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant”, *Science Of The Total Environment*, 652, 602-610, 2019.
104. Prata, J. C., Godoy, V., da Costa, J. P., Calero, M., Martín-Lara, M. A., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T., “Microplastics and fibers from three areas under different anthropogenic pressures in Douro river”, *Science of The Total Environment*, 776, 145999, 2021.
105. Çevik, C., Kıdeyş, A. E., Tavşanoğlu, Ü. N., Kankılıç, G. B., Gündoğdu, S., ‘A review of plastic pollution in aquatic ecosystems of Turkey’, *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20, 2021.
106. Bilhan, Ö., İlan, F., “Bozulmamış sediment örnekleyici kullanılarak Kızılırmak (Nevşehir-Türkiye) Nehri sedimentlerinde arsenik ağır metalinin değerlendirilmesi”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı, s. 302-308, 2021.
107. “Nevşehir İli 2018 Yılı Çevre Durum Raporu”, *Türkiye Cumhuriyeti Nevşehir Valiliği Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü*, *Nevşehir Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü Çevre Yönetimi Ve Denetiminden Sorumlu Şube Müdürlüğü*, Nevşehir, 2019.

108. Balcı E. Ö., ‘‘Kızılırmak Nehri’nde (Avanos Civarı- Nevşehir) Sualtı Bitki Biyokütlesinin Zamansal Değişimleri’’, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2012.
109. ‘‘Kırşehir İli 2018 Yılı Çevre Durum Raporu’’, *Türkiye Cumhuriyeti Kırşehir Valiliği Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Kırşehir Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü Çevre Yönetimi Ve Denetiminden Sorumlu Şube Müdürlüğü*, Kırşehir, 2019.
110. Vermaire, J. C., Pomeroy, C., Herczegh, S. M., Haggart, O., & Murphy, M., ‘‘Microplastic abundance and distribution in the open water and sediment of the Ottawa River, Canada, and its tributaries’’, *Facets*, 2(1), 301-314, 2017.
111. Masura, J., Baker, J., Foster, G., Arthur, C., ‘‘Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments’’. *NOAA Technical Memorandum*, 2015.
112. Aksakal, D., Çalış, M., Yiğitkurt, S., Durmaz, Y., ‘‘Işınlı İnci İstiridyesi Pinctada imbricata radiata’da Mikroplastik Varlığı’’, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(4), 742-748, 2021.
113. İnternet: ‘‘Karadenizde mikroplastik tehlikesi’’, <https://www.dha.com.tr/gundem/karadenizde-mikroplastik-tehlikesi-1685674>
114. Karbalaei, S., Hanachi, P., Walker, T., & Cole, M., ‘‘Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution’’, *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 36046, 2018.
115. Aytan, A., Esensoy, F.B., Şentürk, Y., Öztekin, A., Ağırbaş, E., Karaoğlu., ‘‘Güneydoğu Karadeniz’de Mikroplastik Kirliliğinin Güncel Durumu’’, *II. Ulusal Denizlerde İzleme Ve Değerlendirme Sempozyumu Bildiri Özetleri*, s. 179-182, 2019.
116. Akarsu, C., ve diğ., ‘‘Mersin Körfezine Atıksu Aritma Tesislerinden Mikroplastik Girdisi’’, *II. Ulusal Denizlerde İzleme Ve Değerlendirme Sempozyumu Bildiri Özetleri*, s. 167-168, 2019.