



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Mikroplastikler ve Çevresel Etkileri

 Murat ARI^{a,*},  Serdal ÖĞÜT^b

^aBiyokimya Bölümü, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, TÜRKİYE

^bBeslenme ve Diyetetik Bölümü, Sağlık Bilimleri Fakültesi Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: muratari60@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.757698

ÖZET

Plastikler malzemeler, 60 yıl kadar geçmişi olan nispeten genç malzemelerdir ve günümüz teknolojisi sayesinde pek çok çeşidi ile hayatımıza girmiştir. Plastik malzemelerin ilk keşfinden günümüze dek yaklaşık 9 milyar ton civarında plastik üretilmiştir. Bu sayının 2050 yılına kadar 38 milyar ton olacağı ve yaklaşık 13 milyar tonu atık olacağı düşünülürse, "Plastik Çağı'nı" yaşadığımızı söylemek çok da abartı olmayacaktır. Plastikler zaman içinde bozunarak ikincil mikroplastikleri oluşturmaktadır. İlaç, kozmetik gibi sektörlerde kullanılmak üzere üretilen mikroplastikler ise birincil mikroplastikler olarak adlandırılır. Plastik kirliliğinin insanoğluna, suda yaşayan canlılara ve aynı zamanda küresel çevreye büyük tehdit oluşturduğu bilinmektedir. Özellikle son yıllarda potansiyel zararlı etkileri nedeniyle küçük plastikler üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Aynı zamanda toplumda bir farkındalık oluşturmak ve mikroplastik oluşumunu kontrol altına almak için pek çok girişimde bulunulmuştur. Bu kapsamda ülkemizde 2019 yılında plastik poşet kullanımına sınırlama getirilmiştir.

Bu çalışmada, mikroplastiklerin genel özelliklerinden bahsedilip çevreye ve insan sağlığı üzerine olası potansiyel etkileri incelenmiştir. Mikroplastiklerle ilgili daha fazla çalışma yapılması ve çevre sağlığı açısından gerekli önlemlerin alınması gerektiği vurgulanmak istenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastikler, Çevre, sağlık, Çevre kirliliği.

Microplastics and Environmental Effects

ABSTRACT

Plastic materials are relatively young materials with a history of about 60 years, and many types of microplastics have entered our lives thanks to today's technology. Approximately 9 billion tons of plastic has been produced since the first discovery of plastic materials. Considering that this number will be around 38 billion tons by 2050 and that this number will be about 13 billion tons of waste, it would not be an exaggeration to say that we are living the "Plastic Age". Plastics decompose over time to form secondary microplastics. Microplastics produced for use in sectors such as pharmaceuticals and cosmetics are called primary microplastics. It is known that plastic pollution pose a big threat humans, aquatic creatures and also the global environment. Especially in recent years, studies on small size plastics have intensified due to their potential harmful effects. At the same time, many attempts have been made to raise awareness in society and to control formation of microplastics. In this context, restrictions were imposed on the use of plastic bags in our country in 2019.

In this study, the general properties of microplastics were mentioned and their potential effects on the environment and human health were examined. It was emphasized that more studies should be done on microplastics and necessary measures should be taken in terms of environmental health.

Keywords: Microplastics, Environment, Health, Pollution.

I. GİRİŞ

Plastik ürünler, düşük maliyet, işlenebilirlik ve dayanıklılık konusundaki avantajları sayesinde günlük yaşamda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca tek kullanımlık malzemeler olarak öne çıkmaktadır [1,2]. Plastikler aynı zamanda hafif ve dayanıklı olmaları, esnek ve kolay işlenebilir olmaları, çok yönlü ve kapsamlı, pratik kullanım alanları olması sebebiyle insanlar tarafından yaygın ve yoğun bir şekilde tercih edilmektedir [3]. Son 50 yılda küresel plastik üretimi, yıllık % 8,7 artışla yaklaşık 9,1 milyar ton olmuştur. Avrupa'daki plastik atıkları ile ilgili derneğin raporuna göre, 2016 yılında yaklaşık 335 milyon ton plastik üretilmiştir. Yapılan son araştırmalara göre, herhangi bir canlı yaşamayan ıssız adalardan kutuplara, hatta dünyanın en derin noktası olan Mariana çukuruna kadar birçok yerde plastik parçalarına rastlandığı ortaya çıkmıştır. [4]. Muazzam üretim ve verimlilik yönetimleri nedeniyle, plastik atık sorunu şüphesiz kritik bir çevre sorunu haline gelmiştir. Artan dünya nüfusu ile de plastik kullanımı artarken, plastiklerin atık yönetimi, hala araştırmacılar için bir sorun kaynağı olmaktadır [5, 6]. Bu nedenle kutuplardan ekvatora kadar tüm dünyada karada ve sulara ciddi bir kirlilik oluşturmaktadır. Buna paralel olarak nüfusun yoğun olduğu şehirlerde daha fazla plastik ile kontaminasyonunu göz önünde bulundurarak plastiklerin geri dönüşümlerine önem verilmeli, uygun bertaraf yöntemleri ile çevredeki plastik kirliliği azaltılmalıdır. Özellikle denizdeki tüm çöplerin %60-80 civarını plastikler oluşturmakta, hatta bazı bölgelerde ise bu oran %90-95'e kadar çıkabilmektedir [7,8]. Tüm bu sebeplerden dolayı, bu konuyla ilgili daha fazla bilimsel araştırmalar yapılmalı ve plastik kirliliğini önlemek için alınan önlemler daha da artırılmalıdır. Toplumun plastiklerin kullanımı ile ilgili algısı yavaş yavaş değiştirilmelidir [8]. Plastiklerin genel özellikleri tablo 1'de gösterilmiştir [9].

Tablo 1. Plastiklerin genel özellikleri (9)

Hafiftirler ve suda yüzerler.
Bir çeşit polimerlerdir.
Yağı severler. (lipofilik)
İşlenmeleri, şekillendirilmeleri kolaydır.
Yalıtkan özelliktedirler. (Elektrik ve ısıya karşı)
Pek çok kimyasala karşı dayanıklıdır.
Rejenere edilebilirler.
Katkı maddeleri ilave edilerek daha dayanıklı hale getirilebilirler.
Toksik olan kimyasalları, adsorplayarak taşıyabilirler.

Günümüzde plastik kaynaklı kirlilik, tek kullanımlık plastik ürünlerin üretiminin hızla artması nedeniyle en acil çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Plastik malzemelerin sunmuş olduğu kolaylıklar, insanlarda “kullan ve at” kültürünü yaygın hale getirmiştir. Plastik torbalar ve gıda ambalajları gibi pek çok ürün insanlar tarafından kullanıldıktan sonra dakikalar içerisinde çevreye atılır. Bu ürünler, ne yazık ki çevresel ortamlarda yüzlerce yıl boyunca kalabilirler. Çevresel ortamlara karışan plastik atıklar ana hatları itibari ile güneş ışığı ve rüzgarın etkisiyle küçük parçacıklara bölünürler ve mikroplastikleri oluştururlar [10].

II. MİKROPLASTİKLER

"Mikroplastik" terimi ilk olarak 2004 yılında Thompson tarafından kullanıldı. Mikroplastikler, genel olarak 5 mm'den küçük boyutlu plastik parçalar olarak tanımlanır [11].

Birincil mikroplastikler, genel olarak mikro-boyutta “üretilmiş” ve çevreye karışmış mikroplastikler olarak tanımlanırken; ikincil mikroplastikler ise daha büyük boyutlu “makroplastiklerin” daha küçük boyutlu parçalara bölünmesinden kaynaklanmaktadır [9, 10]. Çevresel ortamlarda en çok rastlanan mikroplastiklerde boyutu 5 mm'den küçük olan sentetik organik polimer parçacıklarıdır [12].

Son yıllarda, mikroplastikler yaygın olarak deniz, tatlı su, kara ortamı ve organizmaların içinde görülmektedir. Mikroplastiklerin sebep olduğu kirliliğe ilişkin endişeler giderek artmaktadır ve çevre ve ekoloji alanında ikinci önemli bilimsel konu olarak yerini almıştır [13]. Mikroplastik kirlilik ile ilgili yayınların sayısı son yıllarda, özellikle 2014'ten sonra hızla artmıştır [14]. 1940'larda toplu plastik üretimi başladığından beri, deniz ortamının mikroplastik kirlenmesi, büyüyen bir sorun haline geldi. Deniz ekosistemi ile kıyaslandığında, kentsel, çevre ve karasal ekosistemlere önemli bir ilgi yoktur [15]. Okyanuslardaki plastik çöplerle ilgili 1970'lerin başlarında ortaya konan ilk raporlar, bilimsel topluluğun çok az dikkatini çekmişti. Sonraki yıllarda, bu tür plastik çöplerin ekolojik sonuçlarına ilişkin verilerin toplanmasıyla, bu konuyla ilgili yapılan araştırmalar ilgi görmeye başladı [16]. Thompson ve arkadaşları, 18 İngiliz sahilinden alınan numunelerin çoğunda ve ayrıca 1960'lara kadar Kuzey Denizi'nden toplanan plankton numunelerinde mikroplastiklerin mevcut olduğunu bulmuşlardır [17]. Deniz çöpi, doğrudan veya dolaylı olarak denizlere ve okyanuslara atılan atıkların gelişigüzel bertaraf edilmesinden kaynaklanır. Nehir sistemlerine doğrudan veya atık su çıkış sızıntı sularında giren plastikler daha sonra denize taşınacaktır. Pek çok çalışma, tatlı su sistemlerinin yüksek tek yönlü akışının plastik çöplerin okyanuslara hareketini nasıl tetiklediğini göstermiştir [18]. Denizler ve çevresinde görülen mikroplastikler tablo 2'de gösterilmiştir [19].

Tablo 2. Deniz çevresinde görülen başlıca mikroplastikler [19]

Polimer çeşidi	Kimyasal formülü	Yoğunluk ($g.cm^{-3}$)
Yüksek yoğunluklu polietilen	(C ₂ H ₄) _n	0.917–0.965
Düşük yoğunluklu polietilen		
Polipropilen	(C ₃ H ₆)	0.90–0.91
Polistiren	(C ₈ H ₈) _n	1.04–1.1
Polivinil klorür	(C ₂ H ₃ Cl) _n	1.16–1.58
Poli metil akrilat	(C ₄ H ₆ O ₂) _n	1.17–1.2
Polietilen tereftalat	(C ₁₀ H ₈ O ₄) _n	1.37–1.45
Poliüretan	(R - (N = C = O)) _n	1.20
Polyester		1.24–2.3

Boyut olarak; 1 nm-1 mm arası nanoplastik [16,17], 1 mm-5 mm arası mikroplastik, 5 mm–20 mm arası mezoplastik, 20 mm-100 mm arası makroplastik ve 100 mm'den büyükler ise megoplastik olarak sınıflandırılmaktadır [22,23,24]. Fiziksel olarak parçalar, mikropelletler, lifler, filmler ve köpük olmak üzere 5 gruba ayrılmıştır. Temel olarak da polietilen, polipropilen, polivinil klorür, polistiren, poliüretan ve polietilen tereftalat olmak üzere 5 temel çeşidi bulunmaktadır [20]. Mikroplastiklerin fiziksel çeşitleri tablo 3'de gösterilmiştir [21].

Tablo 3. Mikroplastiklerin fiziksel çeşitleri [21]

Çeşidi	Boyutu	Şekli	Renği
Parça		Talaş	Farklı renkler
Film	<0.1 mm	Sert ve düz	Farklı renkler
Köpük	0.1 mm çap	Uzun ve ince	Beyaz/sarı
Plastik pelletler	0.25-0.5 mm	Küresel	Beyaz/Gri
	1-02 mm	Silindirik	Renksiz/yarı saydam
Lif	30 µm'dan kalın	Yuvarlak	Beyaz/Şeffaf

Aslında mikroplastiklerin sadece boyutsal değil, aynı zamanda fizikokimyasal özelliklerinin de dikkate alınarak bir tanım yapılmasının daha doğru olabileceği düşüncesinden yola çıkılarak, ilk olarak Verschoor'un [25] 2015 yılında hazırladığı kapsamlı rapor dikkate alınmıştır [25]. Sonraki yıllarda Frias ve Nash'ın [26] 2019 yılında Verschoor'un [25] 2015 yılında hazırladığı rapor da dikkate alınarak "mikroplastikler, suda çözünmeyen, birincil veya ikincil üretim kaynaklı, 1 mm-5 mm arasında değişen, düzenli veya düzensiz şekilli olan herhangi sentetik katı parçacıklar veya polimerik

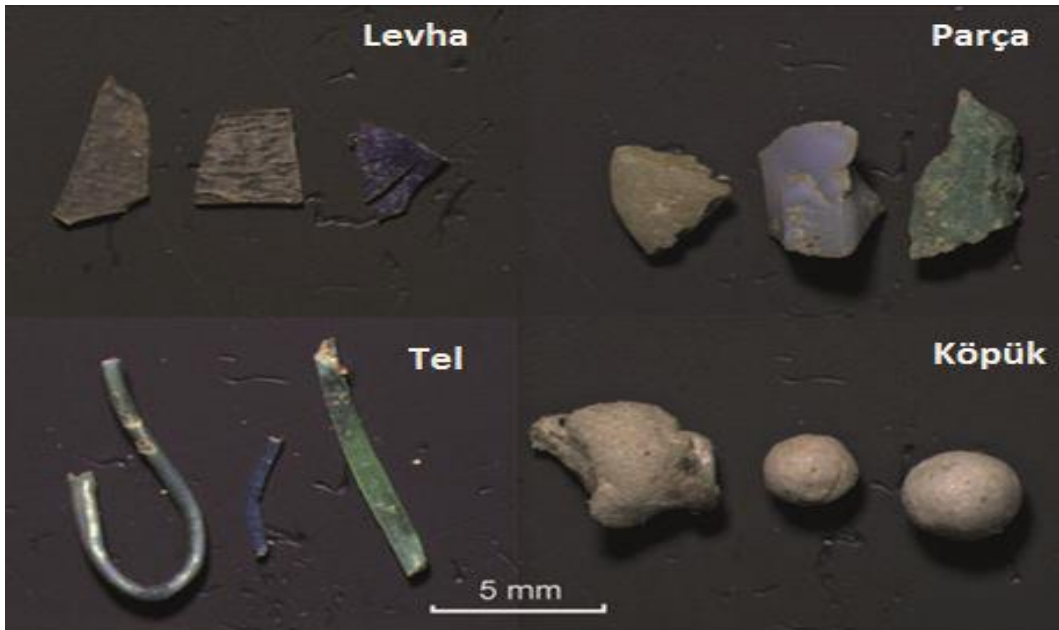
matrikslerdir” tanımı ortaya konulmuştur [26]. Bu tanım, daha kapsamlı olduğu için bundan sonra mikroplastikler hakkında yapılacak bilimsel çalışmalar için de fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Mikroplastiklerin ayrıca karakteristik özelliklerini barındıran pek çok fizikokimyasal özellikleri vardır. Bunlar tablo 4’de özetlenmiştir. [27,28].

Tablo 4. Mikroplastiklerin fizikokimyasal özellikleri [27,28]

Hidrofobik özellikte yüzeylerinin olması
Yüzebilme özellikleri
Kirleticileri üzerinde taşıma özellikleri
Poliforlubifeniller gibi kirleticileri absorblayabilme özellikleri
Diklorobifeniltrikolroethan gibi kirleticileri absorblayabilme özellikleri
UV foto-oksidatif bozulma özellikleri
Termooksidatiflik özelliği
Biyoparçalanma ve/veya termal parçalanma özellikleri
Biyofilmlerde biyokütle üzerine bağlayıcılık özellikleri

A. MİKROPLASTİKLERİN ŞEKİLLERİ

Mikroplastikler çevresel ortamlarda çok farklı şekillerde bulunmaktadır. Genellikle dikdörtgen, tablete benzeyen küresel, silindirik ve disk şekilli olmakla birlikte ağırlıklı olarak uçları yuvarlanmış şekilde küresel ve oval şekilli görülmektedir [29,30]. Sucul ortamlarda, gelgit ve haliç sedimentlerinde olan parçaların çoğu liflerden meydana gelmektedir [31]. Mikroplastiklerin şekilleri, çevrede kaldığı süre ve parçalanma işleminin türüne göre değişiklik göstermektedir [32]. Şekil 1’de mikroplastiklerin morfolojisi gösterilmiştir [33].



Şekil 1. Mikroplastiklerin morfolojisi [33]

B. MİKROPLASTİKLERİN KAYNAKLARI

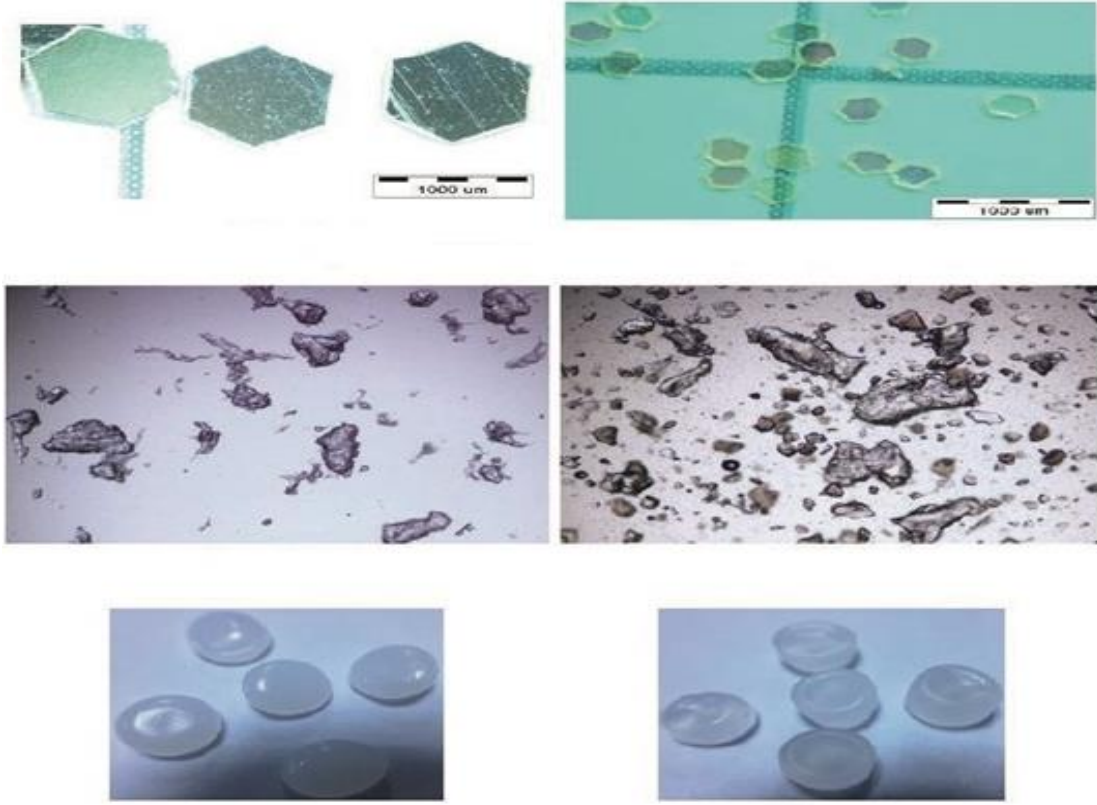
Mikroskobik boyutta imal edilen plastikler, kozmetik ve temizlik maddelerinde kullanılan mikro boncuklardır (<1 mm) ve çamaşırların yıkanmasından elde edilen elyaf parçaları, birincil mikroplastikler olarak tanımlanır. Bu parçacıklar çoğunlukla polietilen, polipropilen polistiren, polietilen, tereftalat ve polyesterlerden yapılır. Bu plastikler, tipik olarak yüz temizleyicilerde ve kozmetiklerde kullanılırken, tıpta ilaç vektörleri olarak kullanımları da giderek daha fazla rapor

edilmektedir [34]. Birincil mikroplastikler ayrıca hava püskürtme teknolojisinde kullanılmak üzere üretilmiştir [35]. İkincil mikroplastikler, elde edilen küçük plastik parçaları tanımlayan, hem denizde hem de karada daha büyük plastik döküntülerin parçalanmasından elde edilen mikroplastiklerdir [36]. Birincil ve ikincil mikroplastiklerin çevresel ortamlara karışmasına sebep olan pekçok kaynak bulunmaktadır [37]. Bu kaynaklar tablo 3’de verilmiştir. Günümüzde mikroplastiklerin sucul ortamlardaki ana kaynağı, atık su arıtma tesisi deşarjları olarak bilinmektedir. Denizlerde bulunan atıkların %75’inden fazlasını plastikler meydana getirmektedir [38]. Rutin olarak kullanılan kıyafetler ve maske, peeling gibi kişisel bakım ürünleri her kullanıldığında fazla miktarda mikroplastik kanalizasyona ve dolayısıyla atık su drenajı ile doğal su kaynaklarına geçtiği düşünülürse, tüm bu ürün ve kimyasalları kullanırken ne kadar dikkatli olmamız gerektiği anlaşılmaktadır. Mikroplastikler, doğal su kaynaklarına geçtiğinde, suda yaşayan mikroskobik canlılar ve balıklar için büyük tehlike arz etmektedir. Bu yüzden, deniz ürünlerini fazla tüketen kişilerin besin yoluyla günde ortalama 11 bin mikroplastik parçacığını vücutlarına alabilecekleri tahmin edilmektedir. Bu durum da insan sağlığı açısından tehlike yaratmaktadır [39]. Mikroplastiklerin kaynakları, tablo 4’de özetlenmiştir [38,39,40,41].

Tablo 4. Mikroplastiklerin kaynakları (38-41)

Primer Mikroplastikler
-Tüketicilerden kaynaklanan, mikroplastik içeren özel kişisel bakım, kozmetik ürünlerindeki mikroboncuklar
-Mikro boncuklar (microbeads), şampuan, sabun, diş macunu, eyeliner, rimel, dudak parlaticısı, güneş kremi, deodorant, yüz temizleme ve peeling jelleri
-Özel tıbbi uygulamalar
-Petrol ve gaz araştırmaları için sondaj sıvıları
-Endüstriyel aşındırıcılar
-Üretim öncesi plastikler, hurda üretimi, plastik geri dönüşümü
-Plastiğin işlenmesi, şekillendirilmesi ve üretilmesi gibi endüstriyel işlemler esnasında çevreye salınan hammaddeler, kalıntılar ve atıklar
Sekonder Mikroplastikler
-Plastik malzemelerden kaynaklanan mikroplastikler
-Evlerde mutfak ve dış cephede kullanılan plastik malzemelerin ufalanması ve şekillendirilmesi sonucu ortama salınan mikroplastikler
- Genel çöpler, plastik atıkların boşaltılması
- Düzenli depolama sahalarından ve geri dönüşüm tesislerinden atık toplama sırasındaki kayıplar
- Doğal afetler sırasında plastik malzeme kaybı
-Plastik malçlama
-Toprak kalitesini artırmak için ve kompost katkısı olarak kullanılan sentetik polimer parçacıkları
- Sentetik tesktil ürünlerinden aşınma
-Giyisilerde kullanılan polyamid (naylon), polyester, polar, akrilik gibi sentetik polimerlerden üretilen tekstil malzemeler
-Hijyen ürünlerinden lif salınımı
- Ulaşımından kaynaklanan mikroplastikler (araç lastiği döküntüleri)
- Sentetik polimer bazlı boyalar
-Diğer plastik malzemelerden aşınma
-Organik atıklardaki plastik ürünler
-Kağıt geri dönüşüm tesislerindeki kayıplar
-Balıkçı gemilerinde kaybolan veya atılan malzeme ve su ürünleri tesisleri
-Ticari gemilerinde kaybolan veya atılan malzeme veya kargolar

Birincil ve ikincil mikroplastiklere ait bazı görüntüler sırasıyla Şekil 2 ve 3’ de örnek olarak gösterilmiştir [42].



Şekil 2. Birincil (Primer) mikroplastik kaynakları kozmetik ve diğer malzemelerde kullanılan simler (hegzagonal kesimli) [42]



Şekil 3. İkincil (Sekonder) mikroplastik kaynakları [42]

C. MİKROPLASTİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Mikroplastikleri sınıflandırabilmek için, meydana geldikleri kaynakları, üretildiği malzemelerin tipi, şekli, yapısı, rengi, aşınmışlık durumu gibi pek çok parametre göz önünde bulundurulmaktadır. Beş mm'den küçük boyutta özel olarak üretilen plastik parçacıklar, birincil (primer) mikroplastikler olarak isimlendirilir. 2017 yılına kadar kozmetiklere dahil edilen, fakat günümüzde sağlık açısından tehlikeli olduğu bilinen, genel olarak tüm dünyada yasaklı olan mikroboncuklar (microbeads), makyaj ve tekstil

malzemelerinde fazlaca kullanılan simler (glitters), endüstriyel üretim peletleri ve geri dönüştürülmüş plastik peletler gibi doğrudan oluşan mikroplastiklere birincil (primer) mikroplastikler denilmektedir [42].

Büyük plastiklerin zamanla ve çeşitli etkileşim mekanizmalarıyla aşınıp parçalanmasıyla oluşan mikroplastikler ise ikincil (sekonder) mikroplastikler olarak isimlendirilir. Plastik malzemelerin dökülmüş parçaları, sentetik tekstil ürünlerinin üstünden kopan mikrolifler, ulaşımdan kaynaklanan araç lastiği döküntüleri, hava tozlarındaki sentetik partiküller, ikincil mikroplastiklere örnek olarak verilebilir. Mikroplastikleri sınıflandırılmasının genel bir özeti tablo 5'te gösterilmiştir [40].

Tablo 5. Mikroplastiklerin sınıflandırılması [40]

Sınıflandırma Parametresi	Mikroplastikler
Kaynakları	Kozmetik Ürünler Tekstil Ürünleri Endüstriyel Hammaddeler Ulaşımından kaynaklanan Maddeler
Tipi	Plastik parçaları Plastik filmler Granüler Plastikler İplik lifler Peletler
Şekilleri	Genel Şekli Olanlar Pelet Şeklinde Olanlar Pareça Şeklinde Olanlar
Aşınma Durumu	Bozunmamış Pürüzlü yüzey Doğrusal Kırıklar Yarı paralel çıkıntılar Pürüzsüz Yüzey Bozunmuş ve Çok Bozunmuş Olanlar
Renk	Şeffaf Kristalin Beyaz Açık-Beyaz-Krem Kırmızı, Turuncu Mavi, Opak Siyah, Gri Kahverengi, Yeşil Pembe, Sarı

III. MİKROPLASTİKLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

A. MİKROPLASTİKLERİN TOKSİK ETKİLERİ

Plastik atıklar, çok uzun ömürlü ve dayanıklı oldukları için çevreye atıldıklarında uzun yıllar bozunmadan kalabilirler. Ayrıca mikroplastikler antibiyotikler, organoklorlu pestisitler, hormon bozucular gibi toksik organik kimyasalları ve ağır metalleri adsorblayabilme yeteneğine sahiptir [42]. Plastiklerin üretimi sırasında kurşun, bakır, kadmiyum gibi ağır metaller, ftalatlar, bisfenol A gibi toksik etkisi olan maddeler kullanılmaktadır. Bu plastiklerden pek çok etken ile koparak oluşan daha küçük boyuttaki mikroplastikler de aynı ağır metalleri ve toksik maddeleri içerir. Mikroplastiklerin sularda bulunan çeşitli organik ve inorganik toksik maddeleri tutarak yüzeylerinde biriktirebilme özellikleri vardır. Yüzeylerinde tuttuğu bu toksik maddeleri canlılara taşıma potansiyelleri vardır

[43,44]. Mikroplastiklerin en belirgin toksik etkisi sucul ekosistem üzerinedir. Su kaynaklarında görülen çöplerin büyük çoğunluğunu plastikler oluşturmaktadır [44]. Su kuşları (Albatros, martı) balık, midye, kalamar gibi besin maddelerini tüketirken plastik parçacıkları da yutabilmektedir. Su kaplumbağaları da deniz anasıyla beslenirken etrafını sarmalayan plastik poşetleri de yiyecek zannederek yanlışlıkla yutabilmektedir. Nelms ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada avlanmış balık türlerinin gastrointestinal kanallarında mikroplastik parçacıklarına rastlanmış ve bu balıkların avcılara transfer olma potansiyelini vurgulamaktadır [45]. Suda yaşayan canlıların çoğu, kolay parçalanabilir ve yutulabilir olmaları ve yiyeceği besine renk ve şekil bakımından benzemesi sebebiyle mikroplastikleri yiyecek zannederek kolayca yutabilir [46,47]. Günümüzde yapılan pek çok çalışmada mikroplastiklerin bireysel organizmalar ve yapay besin zincirleri üzerindeki olası etkileri araştırılmaktadır. Ayrıca, MP'lerin ve bunlarla ilişkili kirletici maddelerin deniz ürünlerinden insanlara geçişini ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini anlama girişimi henüz bulunmamaktadır. Ancak, mikroplastiklerin ve çevre kirliliğiyle ilgili toksik etki eden içeriklerinin kaderinin, besin zinciri üzerinden izlendiği pek bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Konu ile ilgili çalışmalar, bu konunun üzerine gidilerek yapılmalıdır [48].

Mikroplastikler, çevresel ortamlara insan eliyle taşınabilmektedir. Bunun yanı sıra tatlı su ortamlarında ve hatta çeşme sularında, soluduğumuz havada, toprakta, kutup bölgelerindeki buzullarda, insanın ulaşmasının zor olduğu dağ göllerinde, okyanusun kilometrelerce altındaki dip bölgelerinde görülmüş olması, mikroplastiklerin doğal süreçlerle de taşınabileceğinin göstergesidir [49,50,51]. Kirliliğin boyutunun bu kadar kapsamlı olması nedeniyle başta Amerika ve İsveç gibi ülkeler tedbirler alarak yeni yasal düzenlemelerle plastik tüketimini sınırlandırmaya çalışmaktadır. Ülkemizde ise temel olarak mikroplastikleri hedef almasada çevresel ortamlarda mikroplastik oluşumuna zemin hazırlayabilen plastik poşetlerin kullanımına sınırlama getirilmiş [52] ve alışverişlerde kullanılan poşetler ücretlendirilmiştir. Plastik kirliliğinin artık geri dönüşümle dahi başa çıkılamayacak seviyeye ulaşması, tek kullanımlık plastik ürünlerin kullanımı sonucunda ortaya çıkan kirliliğin hangi boyutta olduğunu ortaya koymaktadır [53].

Mikroplastikler, çevreye homojen olarak dağılmayan özellikle karasal ve sucul ekosistemlerde yaygınlaşmış kirleticilerdir. Her ne kadar güncel çalışmalarda sucul ekosistemlerdeki mikroplastikler üzerine yoğunlaşmış olsa da, karasal ekosistemler mikroplastiklerin sucul ekosistemlere taşınmasında önemli rol oynamaktadır. Zira mikroplastiklerin kullanımı ağırlıklı olarak karasal ekosistemlerde olmaktadır [54]. Örneğin; toprağın içine giren mikroplastikler, toprak içinde depolanabilir ve erozyonla başka bir yere taşınabilirler. Sonrasında da başka çevresel faktörlerle bozunabilir, yeraltı sularına dahi sızabilirler. Toprak içinde yaşayan pek çok canlı da bu sızan mikroplastikleri vücutlarının içine alabilir. Köstebek, sincap gibi canlıların hareketi ile de mikroplastikler başka alanlara geçebilirler [39,41].

Mikroplastiklerin bir diğer önemli çevresel etkisi ise, kara ve deniz canlıları tarafından yiyecek sanılarak mikroplastiklerin tüketilmeleridir. Mikroplastiklere maruz kalan canlıların büyümesi, üremesi ve sağ kalımlarına ilişkin önemli zarar gördükleri bilinmektedir [54,55,56,57,58].

B. MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Mikroplastikler, insanlara oral yolla (içme suyu, deniz ürünleri ve diğer gıda maddelerinin tüketimi), dermal yolla ve solunum yoluyla geçebilir [25]. Ayrıca ihtimali düşük gibi olsa da yaralı cildin içlerine doğru nüfuz ederek geçebilir [59]. İnsanların içtikleri ve kullandıkları sularda (çeşme suyu ve şişe su), günlük tükettiği yiyeceklerde (tuzda, balık, kalamar, midye, karides gibi su ürünlerinde, şekerde, balda) ve soda gibi içeceklerde mikroplastiklerin olduğu gözlemlenmiştir [60,61,62]. Cox ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları çalışma, şimdiye kadar mikroplastik kirliliği açısından analiz edilmiş olan maddelerin ihtiyacı kadarını tüketen bir Amerikalı yetişkinin ve çocuğun; yılda 81000-123000 arasında mikroplastiklere maruz kaldığını göstermiştir [63]. Sharpe ve Chatterje'nin 2017 yılında yaptıkları çalışmada, mikroplastiklerin vücuda alınımının insan kromozomlarında mutasyonlar oluşturabileceği ve buna paralel olarak kısırlığa sebep olabileceğini öne sürmüşlerdir. Bunun yanı sıra

obeziteye ve hatta kansere dahi yol açabileceğini bildirmişlerdir [63]. Mikroplastikler, aynı zamanda hücre apoptozisi, oksidatif stres, doku nekrozu gibi biyolojik olaylarda negatif etki göstermektedir. Buna paralel olarak potansiyel bir kanserojen etkisi olabileceği söylenebilir [64]. Schwabl ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada, Avusturya, Finlandiya, İngiltere, İtalya, Japonya, Hollanda, Polonya ve Rusya gibi farklı coğrafik konumlarda bulunan farklı 8 ülkeden olan ve rutin beslenme diyetinde sucul ürünler de bulunan insanlardan alınan dışkı numunelerinde mikroplastikler incelenmiş ve 10 g dışkıda toplam 9-24 adet 50-500 µm boyutlarında mikroplastığın mevcut olduğunu bildirmişlerdir. [65]. Plastik parçalar ile etkileşime giren hücrelerde immün salınımının indüklendiği, buna paralel olarak inflamasyonun oluştuğu gösterilmiştir. Mikroplastikler, aynı zamanda çok küçük boyutlarından dolayı translokasyon olayından sonra değişik organizmalarla etkileşime girip iltihaplanmalara sebep olabilmektedir [61,62]. Mikroplastikler aynı zamanda cilt üzerinde birikerek bazı dermal sorunlara da sebep olabilmektedir [63]. Ayrıca ortamdaki kirleticileri, atmosferden yoğunlaştırarak akciğerlerimizde bazı iltihaplanmalara sebep olabilmektedir [66,67]. Yapılan bazı araştırmalarda, mikroplastiklerin mikroorganizmalarla da etkileşime girip insan vücuduna zarar verdiği, hatta ayrı bir mikrobiyal yaşam alanı dahi oluşturabileceği gösterilmiştir [67,68].

Ayrıca mikroplastiklerin içeriğinde bulunabilen nonilfenol, bisfenol-A gibi kimyasallar, hormonlar üzerinde de olumsuz etkilere sebep olabilirler ve endokrin sisteme zarar verebilirler. Böylece beyin gelişiminin bozulması, cinsel gelişimde sorunlar oluşması, özellikle meme ve prostat olmak üzere kanser hastalığının da artmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden, mikroplastik tehlikesinin aslında ne kadar da yakınımızda olduğu ve ne derece olumsuz sonuçlar doğurabileceği gerçeği, bu konuya dikkat çekilmesi gerektiğinin açık göstergesidir [28].

V. SONUC

Doğaya bıraktığımız her bir plastik parçası, belli bir süre sonra parçalanarak milyonlarca, hatta milyarlarca mikroplastik parçacıklarına dönüşebilmektedir. Söz konusu plastik parçacıkların boyutu ne kadar küçülürse küçülsün polimer özelliğini kaybetmemektedir. Bu yüzden, son dönemde üzerine yoğunlaşılması gereken en önemli konu, çevresel kirleticilerden biri haline gelmiş mikroplastiklerin çevreye verdiği zararı, henüz kaynağındayken, çevresel ortamlar arasında taşınmadan önlemektir. Bunu gerçekleştirebilmemiz, öncelikle toplum olarak çevre bilincimizin, duyarlılığımızın ve farkındalığımızın artması ile mümkün olabilecektir. Rutin hayatımızda kişisel bakımımız için kullandığımız kozmetik ürünlerinde, temizlik için kullandığımız deterjan vb. malzemelerde, tekstil ürünlerinde ve çanta, ayakkabı, otomobil lastiği gibi pek çok tüketici ürünlerinde çevre dostu ürünleri tercih etmeliyiz. Yaşam tarzımızı genel bir revizyondan geçirerek, geri dönüşümü olan malzemeler kullanmaya özen göstermeliyiz. Mikroplastiklerin çevreye ve insana hangi boyutlarda zarar verdiği yapılan pek çok çalışmada gösterilmiştir. Mikroplastiklerin çevreye olan zararlarından dolayı Amerika, Yeni Zelanda, Tayvan, İsveç, Güney Kore gibi ülkelerde birincil mikroplastik kullanımına ilişkin sınırlamalar getirilmiştir. Mikroplastik kullanımı konusunda uluslararası eğilim, toplumda bir farkındalık oluşturarak mikroplastik oluşumunu kontrol altına almaktır. Fakat ülkemizde mikroplastik ve çevreye verdiği zararlara ilişkin çok az çalışma mevcuttur ve belli bir kısıtlama yoktur. En güncel olarak, 2019 yılında plastik poşet kullanımına sınırlama getirilmiştir. Bu açıdan bakıldığında, mikroplastiklerin çevre ve insan üzerine etkileri ile ilgili daha fazla çalışma yapılması, çevre sağlığı açısından gerekli önlemlerin alınması, bu konuda toplum bilincinin geliştirilmesi gerekmektedir.

VI. KAYNAKLAR

[1] D. He, Y. Luo, S. Lu, M. Liu, Y. Song, and L. Lei, "Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks," *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 109, pp. 163-172, 2018.

- [2] M. A. Browne, P. Crump, S. J. Niven, E. Teuten, A. Tonkin, T. Galloway, and R. Thompson, "Accumulation of microplastic on shore lines worldwide sources and sinks," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 45, no. 21, pp. 9175-9179, 2011.
- [3] J. Wang, Z. Tan, J. Peng, Q. Qiu, and M. Li, "The behaviors of microplastics in the marine environment," *Marine Environment Research*, vol. 113, pp. 7-17, 2016.
- [4] X. Peng, M. Chen, S. Chen, S. Dasgupta, H. Xu, K. Ta, and S. Bai, "Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean," *Geochemical Perspectives Letters*, vol. 9, pp. 1-5, 2016.
- [5] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made," *Sci. Adv.*, vol. 3, no. 7, 2017, doi: 10.1126/sciadv.1700782.
- [6] R. Shahabaldin, P. P. Junboun, F. M. D. Mohd, M. T. Shazwin, T. Amirreza, K. Y. Krishna, and K. Hesam, "Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 133, pp. 191-208, 2018.
- [7] C. J. Moore, "Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat," *Environmental Research*, vol. 108, pp. 131-139, 2008.
- [8] Q. Qiu, Z. Tan, J. Wang, J. Peng, M. Li, and Z. Zhan, "Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 176, pp. 102-109, 2016.
- [9] A. A. Koelmans, A. Bakir, G. A. Burton, and C. R. Janssen, "Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: Critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies," *Environmental Science & Technology*, vol. 50, no. 7, pp. 3315-3326, 2016.
- [10] A. A. Koelmans, T. Gouin, R. Thompson, N. Wallace, C. Arthur, "Plastics in the marine environment," *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 33, no. 1, pp. 5-10, 2014.
- [11] H. Bouwmeester, P. C. Hollman, and R. J. Peters, "Potential health impacts of environmental released micro- and nanoplastics in the human food chain production chain: experiences from nanotoxicity," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, no. 15, pp. 8932-8947, 2015.
- [12] V. Hidalgo-Ruz, L. Gutow, R. C. Thompson, and M. Thiel, "Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification," *Environmental Science & Technology*, vol. 46, no. 6, pp. 3060-3075, 2012.
- [13] A. A. Horton, A. Walton, D. J. Spurgeon, E. Lahive, and C. Svendsen, "Microplastics in fresh water and terrestrial environments: evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities," *Sci. Total Environ.* vol. 586, 2017.
- [14] H. Dafu, L. Yongming, L. Shibo, L. Mengting, S. Yang, and L. Lili, "Microplastics in soils: analytical methods, pollution characteristics and ecological risks," *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 109, pp. 163-172, 2018.
- [15] S. Dehghani and F. More, R. Akhbarizadeh, "Microplastic pollution in deposited urban dust, Tehran metropolis, Iran," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, no. 25, pp. 20360-20371, 2017.
- [16] C. W. Fowler, "Marine debris and northern fur seals: a case study," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 18 no. 6, pp. 326-335, 1987.

- [17] R. C. Thompson, Y. Olsen, R.P, Mitchell, A. Davis, S. J Rowland, A. W. John, A. E. Russell, "Lost at sea: where is all the plastic?" *Science*, vol. 304, no. 5672, pp. 838, 2004.
- [18] M. A Browne, T. S Galloway, and R. C. Thompson, "Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines," *Environmental Science & Technology*, vol. 44, pp. 3404–3409, 2010.
- [19] R. Shabaldin, P. Junboun, D. Mohd Fahdil Md, T. Shazwin Mat, T. Amirreza, Y. Krishna Kumar, K. Hesam, "Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies," *Marin Polluton Bulletin*, vol. 133, pp. 191-208, 2018.
- [20] P. J. Anderson, S. Warrack, V. Langen, J. K Challis, M. L Hanson, M. D. Rennie, "Microplastic contamination in lake winnipeg, Canada," *Environ. Pollut*, vol. 225, pp. 223–231, 2017.
- [21] N. Van der Hal, .A. Ariel, and D. L. Angel, "Exceptionally high abundances of microplastics in the oligotrophic Israeli Mediterranean coastal waters," *Mar. Pollut. Bull*, vol. 116, no. 1, pp. 151–155, 2017.
- [22] J. P.Costa, P. S. Santos, A. C. Duarte, and T. Rocha-Santos, "Nanoplastics in the environment–sources, fates and effects," *Science of the Total Environment*, vol. 566, no. 1, pp. 15-26, 2016.
- [23] D. K. Barnes, F. Galgani, R. C. Thompson, and M. Barlaz, "Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments," *Phil Trans Biol Sci*, vol. 364, no. 1526, pp. 1985-1998, 2009.
- [24] N. Hartmann, T. Hüffer, R. C. Thompson, M. Hassellöv, A. Verschoor, A. E. Daugaard, and M. P. Herrling, "Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization frame work for plastic debris," *Environmental Science & Technology*, vol. 53, no. 3, pp. 1039-1047, 2019.
- [25] I. L. N. Bråte, D. P. Eidsvoll, C. C. Steindal, and K. V. Thomas, "Plastic ingestion by Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the Norwegian coast," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 112, no. 1-2, pp. 105-110, 2016.
- [26] J. P. G. L. Frias and R. Nash. "Microplastics: Finding a consensus on the definition," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 138, pp. 145-147, 2019.
- [27] V. Hidalgo-Rulz, L. Gutow, R. C. Thompson, and M. Thiel. "Microplastics in the marine environment: A Review of the methods used for identification and quantification," *Environmental Science & Technology*, vol. 46, pp. 3060-3075, 2012.
- [28] S. L. Wright, R. C. Thompson, and T. S. Galloway, "The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review," *Environmental Pollution*, vol. 178, pp. 483-492, 2013.
- [29] E. Esmeray ve C. Armutçu. "Mikroplastikler, çevre-insan sağlığı üzerine etkileri ve analiz yöntemleri," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, ss. 839-868, 2020.
- [30] A. H. Abu-Hilal and T. H. Al-Najjar. "Plastic pellets on the beaches of the northern gulf of Aqaba," *Aquatic Ecosystem Health and Management*, vol. 12, pp. 461-470, 2009.
- [31] R. C. Thompson, Y. Olsen, R. P. Mitchell, A. Davis, and S. J. Rowland, A. W. John, D. McGonigle, A. E. Russell, "Lost at Sea: Where is all the plastic?" *Science*, vol. 304, pp. 838, 2004.
- [32] M. J. Doyle, W. Watson, N. M. Bowlin, and S. B. Sheavly. "Plastic particles in coastal pelagic ecosystems of the Northeast Pacific ocean," *Marine Environment Research*, vol. 71, pp. 41-52, 2011.

- [33] A. B. Silva, S. B. Ana, I. J. Celine, J. P. Costa, A. C. Duarte, and T. A. Rocha-Santos, "Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry," *Analytica Chimica Acta*, vol. 1017, pp. 1-19, 2018.
- [34] M. M. Patel, B. R. Goyal, S. V. Bhadada, J. S. Bhatt, and A. F. Amin, "Getting into the brain: Approaches to enhance brain drug delivery," *CNS Drugs*, vol. 23, pp. 35–58, 2009.
- [35] J. G. B. Derraik, "The pollution of the marine environment by plastic debris: A review," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 44, pp. 842–852, 2002.
- [36] P. G. Ryan, C. J. Moore, J. A. Van Franeker, and C. L. Moloney, "Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment," *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 364, pp. 1999–2012, 2009.
- [37] D. Karen and C. Anja. "Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: Sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects," *Environmental Sciences Europe*, vol. 28, no. 1, pp. 2, 2016.
- [38] R. Aslan. "Mikroplastikler: hayatı kuşatan yeni tehlike," *Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi*, c. 6, ss. 66, 2018.
- [39] M. Cole, P. Lindeque, C. Halsband, and T. S. Galloway, "Microplastics as contaminants in the marine environment: A review," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, no. 12, pp. 2588-2597, 2011.
- [40] M. Yurtsever. "Mikroplastikler'e genel bir bakış," *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 17, s. 50, ss. 68-83, 2015.
- [41] K. Duis and A. Coors. "Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects," *Environmental Sciences Europe*, vol. 28, no. 1, pp. 2, 2016.
- [42] C. M. Rochman, E. Hoh, T. Kurobe, and S. J. Teh, "Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress," *Scientific Reports*, vol. 3, pp. 3263, 2013.
- [43] D. Brennecke, B. Duarte, F. Paiva, I. Caçador, and J. Canning-Clode, "Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment," *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 178, pp. 189-195, 2016.
- [44] A. A. Koelmans, N. H. M. Nor, E. Hermsen, M. Kooi, and S. M. Mintenig, J. De France, "Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality." *Water Research*, vol. 155, pp. 410-422, 2019.
- [45] S. E. Nelms, T. S. Galloway, B. J. Godley, D. S. Jarvis, and P. K. Lindeque, "Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators," *Environmental Pollution*, vol. 238, pp. 999-1007, 2018.
- [46] M. Cole, P. Lindeque, E. Fileman, C. Halsband, R. Goodhead, J. Moger, and T. S. Galloway, "Microplastic ingestion by zooplankton," *Environmental Science & Technology*, vol. 47, no. 12, pp. 6646-6655, 2013.
- [47] I. V. Kirstein, S. Kirmizi, A. Wichels, A. Garin-Fernandez, R. Erler, M. Löder, and G. Gerdt, "Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic vibrio microplastic particles" *Marine Environmental Research*, vol. 120, pp. 1-8, 2016.

- [48] M. Carbery, W. O'Connor, T. Palanisami, "Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health," *Environment International*, vol. 119, pp. 400-409, 2018.
- [49] M. Yurtsever and U. Yurtsever. "Use of a convolutional neural network for the classification of microbeads in urban wastewater," *Chemosphere*, vol. 216, pp. 271-280, 2019.
- [50] E. Guzzetti, A. Sureda, S. Tejada, and C. Faggio, "Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects," *Environmental Toxicology and Pharmacology*, vol. 64, pp. 164-171, 2018.
- [51] L. Lu, Z. Q. Wan, T. Luo, Z. W. Fu, and Y. X. Jin, "Polystyrene microplastics induce gut microbiota dysbiosis and hepatic lipid metabolism disorder in mice," *Science of The Total Environment*, vol. 631-632, pp. 449-458, 2018.
- [52] Çevre kanunu ve bazı kanunlarda değişiklik yapılmasına dair kanun, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 30621, Kanun No: 7253, 10 Aralık 2018.
- [53] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, use, and fate of all plastics ever made," *Science Advances*, vol. 3, no 7, pp. 700782, 2017.
- [54] D. He, Y. Luo, S. Lu, M. Liu, Y. Song, and L. Lei, "Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks," *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 109, pp. 163-172, 2018.
- [55] M. C. Rillig, L. Ziersch, and S. Hempel, "Microplastic transport in soil by earth worms," *Scientific Reports*, vol.7, pp. 1362, 2017.
- [56] R. R. Hurley and L. Nizzetto, "Fate and occurrence of micro(nano) plastics in soils: Knowledge gaps and possible risks," *Current Opinion in Environmental Science&Health*, vol. 1, pp. 6-11, 2018.
- [57] M, Thiel, G. Luna-Jorquera, R. Álvarez-Varas, C. Gallardo, I. A. Hinojosa, N. Luna, D. Miranda-Urbina, N. Morales, N. Ory, A. S. Pacheco, M. Portflitt-Toro, and C. Zavalaga, "Impacts of marine plastic pollution from continental coasts to subtropical gyres-fish, sea birds, and other vertebrates in the SE pacific," *Frontiers in Marine Science*, vol. 5, no. 238, 2018, doi: 10.3389/fmars.2018.00238.
- [58] S. Y. Au, T. F. Bruce, W. C. Bridges, and S. J. Klaine, "Responses of *Hyalella azteca* acute and chronic microplastic exposures," *Environmental Toxicology and Chemistry* 34, vol. 24, no. 11, pp. 2564-2572, 2015.
- [59] R. Lehner, C. Weder, A. Petri-Fink, and B. Rothen-Rutishauser, "Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health," *Environmental Science&Technology*, vol. 53, no. 4, pp. 1748- 1765, 2019.
- [60] M. Kosuth, S. A. Mason, and E. V. Wattenberg, "Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt," *PloS one*, vol. 13, no. 4, 2018.
- [61] C. M. Rochman, E. Hoh, T. Kurobe, and S. J. Teh, "Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress," *Scientific Reports*, vol. 3, pp. 3263, 2013.
- [62] M. Yurtsever, "Microplastic pollution threat in table salt that an abiotic sea product," *Su Ürünleri Dergisi*, vol. 35, no. 3, pp. 243-249, 2018.

- [63] K. D. Cox, G. A. Covernton, H. L. Davies, J. F. Dower, F. Juanes, and S. E. Dudas, "Human consumption of microplastics," *Environmental Science & Technology*, vol. 53, no. 12, pp. 7068-7074, 2019.
- [64] L. Lu, T. Luo, Y. Zhao, C. Cai, Z. Fu, and Y. Jin. "Interaction between microplastics and microorganism as well as gut microbiota: A consideration on environmental animal and human health," *Science of the Total Environment*, vol. 667, pp. 94-100, 2019.
- [65] B. Liebmann, S. Köppel, P. Königshofer, T. Bucsics, T. Reigerber, T. Reiberger, and P. Schwabl, "Assessment of microplastic concentrations in human stool – final results of a prospective study," presented at International Conference On Emerging Contaminants (EmCon), Oslo, Norway, 2018.
- [66] J. Wang, Z. Tan, J. Peng, Q. Qiu, and M. Li, "The behaviors of microplastics in the marine environment," *Marine Environment Research*, vol. 113, pp. 7-17, 2016.
- [67] L. Van Cauwenberghe, and C. R. Janssen, "Microplastics in bivalves cultured for human consumption," *Environmental Pollution*, vol. 193, pp. 65-70, 2014.
- [68] S. L. Wright and F. J. Kelly, "Plastic and human health: A micro issue?" *Environment Science Technology*, vol. 51, no. 12, pp. 6634-6647, 2017.