

**MİKROPLASTİK ATIKLARIN
NEDEN OLDUĞU MAKRO PROBLEMLER:
SÜRDÜRÜLEBİLİR
YÖNETİM YAKLAŞIMI**

**MACRO PROBLEMS CAUSED BY MICROPLASTIC WASTE:
A SUSTAINABLE MANAGEMENT APPROACH**

*Güleda ENGİN
Hanife SARI ERKAN*

MİKROPLASTİK ATIKLARIN NEDEN OLDUĞU MAKRO PROBLEMLER: SÜRDÜRÜLEBİLİR YÖNETİM YAKLAŞIMI

Güleda ENGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Hanife SARI ERKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Özet

Mikroplastikler, çevrede hemen her yerde rastlanan, boyutları 5 mm'den küçük plastik parçacıklardır. Deniz ve karasal ekosistemlerin yanı sıra insan sağlığı için de önemli bir sorun haline gelen bir problemdir. Mikroplastikler nihai alıcı ortama çeşitli kaynaklardan ulaşabilmektedir, ancak katkıda bulunan en önemli hususlardan biri atılmış büyük plastik ürünlerin parçalanmasıdır. Veriler dünyadaki plastik üretiminin günümüzde 367 milyon tona ulaştığı göstermektedir. Karada üretilen plastik atıkların önemli bir kısmı kaçınılmaz olarak su kaynaklarına ulaşmaktadır. Mikroplastik atıkların ciddi bir sorun haline gelmesi, çevreye ve topluma zarar vermesi, sürdürülebilir yönetim yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmasına yol açmıştır. Mikroplastik atıklara yönelik sürdürülebilir bir yönetim yaklaşımı kapsamında öncelikle problemin temel kaynaklarının belirlenmesi, atık plastik oluşumunun azaltılması ve etkili atık yönetimi stratejileri geliştirilmesi gerekmektedir. Plastik atık oluşumunu azaltmanın önemli bir yolu geri dönüşüm ve biyolojik olarak parçalanabilen alternatiflerin kullanılmasıdır. İlave olarak tek kullanımlık plastiklere olan bağımlılığın azaltılması teşvik edilmeli, hatta bir adım daha öteye giderek bu tip plastik ürünlere mevzuatta gerekli düzenlemelerin yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler

Mikroplastik kirliliği, Sürdürülebilir yönetim, Çevre kirliliği

MACRO PROBLEMS CAUSED BY MICROPLASTIC WASTE: A SUSTAINABLE MANAGEMENT APPROACH

Güleda ENGİN
Yıldız Technical University

Hanife SARI ERKAN
Yıldız Technical University

Abstract

Microplastics are plastic particles smaller than 5 mm in size that are now ubiquitous in the environment. It is a problem that is becoming a major concern for marine and terrestrial ecosystems as well as for human health. Microplastics can reach the final receiving environment from a variety of sources, but one of the major contributors is the breakdown of discarded large plastic products. Data shows that global plastic production has now reached 367 million tons. A significant proportion of plastic waste generated on land inevitably reaches water bodies. The fact that microplastic waste has become a serious problem, harming the environment and society, has led to the need for sustainable management approaches. A sustainable management approach to microplastic waste requires first identifying the root sources of the problem, reducing the generation of plastic waste and developing effective waste management strategies. An important way to reduce plastic waste generation is through recycling and the use of biodegradable alternatives. In addition, reducing the dependence on single-use plastics should be encouraged, and even going one step further, necessary regulations should be made in the legislation for such plastic products.

Keywords

Microplastics pollution, Sustainable management, Environmental pollution

1. Giriş

Plastiklerin hem sosyal hayatımızda hem de endüstriyel ortamlarda artan kullanımı, “mikroplastik” olarak adlandırılan yeni bir kirletici türünün ortaya çıkmasına neden olmuştur. Mikroplastikler, belirli amaçlar için kasıtlı olarak üretilebilen veya daha büyük plastik malzemelerin aşınması veya bozunmasından kaynaklanan ve boyutu 5 mm'nin altındaki küçük plastik parçacıklardır. Mikroplastiklerin toprağa ve sucul ortamlara, çoğunlukla nehir ve dereler ile atıksu arıtma tesisi arıtılmış atıksuları yoluyla girdiği bilinmekle birlikte, katı atık depolama alanlarından atmosfere dağılabilmekte ve atmosferik yağış yoluyla göllere, denizlere ve okyanuslara taşınabilmektedir. Antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan mikroplastiklerin nehir ve akarsular ile nihai alıcı ortam olan denizlere taşınması sebebiyle mikroplastik parçacıklar nehir ağızlarında, limanlarda, marinalarda ve deniz kıyılarında birikme eğilimi göstermektedir (Moore, 2008; Rocha-Santos & Duarte, 2015; Teuten vd., 2007). Plastiklerin çoğunun yoğunluğu sudan daha hafif olmasına rağmen, mikroplastik kirliliği su kolonunda, kıyı sedimentlerinde ve deniz dibi sedimentlerinde de tespit edilmiştir (Anderson vd., 2018).

1970'lerde plankton örneklerinde mikroplastiklerin keşfedilmesi (Carpenter vd., 1972; Carpenter & Smith Jr, 1972) mikroplastikler üzerine araştırmaların başlangıcını oluşturmuştur. Günümüzde, deniz ortamındaki mikroplastik kirliliği pek çok araştırmaya konu olmaktadır (Browne vd., 2013; Depledge vd., 2013; Fendall & Sewell, 2009; Galloway & Thompson, 2011). Bununla birlikte, mikroplastiklerin boyut, şekil ve yoğunluk açısından heterojenliği nedeniyle, güvenilir numune toplama, mikroplastik izolasyonu, tespiti ve polimer tür belirlenmesi işlemleri, nicel değerlendirmeyi güçleştirmektedir (GESAMP, 2019). Etkili testler ve analizler için standartlaştırılmış prosedürlerin henüz oluşturulmamış olması da farklı sonuçların elde edilebilmesini ve dolayısıyla karşılaştırma yapmayı zorlaştırmaktadır. Araştırmacılar, halen hem su numunelerinde hem de dip sedimentlerinde ve kıyı bölgelerinde mikroplastik numunesi alma ve mikroplastik tespiti için izolasyon teknikleri geliştirmeye çalışmaktadır (Gerdts, 2019). Şu anda deniz ortamındaki mikroplastikleri analiz etmek için kullanılan laboratuvar prosedürü ABD Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından geliştirilmiştir (Masura vd., 2015), ancak son yıllarda farklı prosedürler de yayınlanmıştır (GESAMP, 2019).

1950li yıllardan sonra artan plastik üretimine bağlı olarak plastik atıklardan ve döküntülerden kaynaklanan mikroplastik kirliliği, görsel olarak tespit edilememesine rağmen, özellikle okyanus ve denizlerde oldukça yaygın bir şekilde araştırılmaktadır (Andrady, 2011). Petrol bazlı plastikler deniz kirliliğinin tahmini olarak %60 ila 80'ine katkıda bulunduğu ve özellikle deniz ekosisteminde bulunan yüksek yoğunluklu plastik döküntülerin ekosistem üzerinde çeşitli etkileri olduğu bildirilmektedir (Nava & Leoni, 2021). Deniz ve okyanuslarda batmayan cam şişeler, hafif tüpler, metal kutular ve terk edilmiş balıkçılık malzemeleri bulunmasına rağmen, mevcut plastiklerin %80'ini antropojenik kökenli plastikler oluşturmaktadır (Andrady, 2011; Lassen vd., 2015).

Deniz ortamındaki mikroplastiklerle ilgili araştırmalar 1970'lerde başlamış olsa da son 20 yılda bu konudaki çalışma sayısında ciddi bir artış olmuştur. 2017 yılında deniz ortamındaki mikroplastiklerle ilgili sadece 100 çalışma bulunurken (Gago vd., 2018), 2023 yılında denizlerdeki mikroplastiklerin araştırıldığı makale sayısı 974'e yükselmiş, mikroplastiklerle ilgili makale toplam sayısı ise 7800 rakamını geçmiştir (ScienceDirect, Mart 2023).

1970'lerden bu yana mikroplastiklerin miktar, ağırlık, tür ve boyut açısından mekânsal dağılımını araştırmak için çok sayıda çalışma yapılmıştır (McDermid & McMullen, 2004; Yamashita & Tanimura, 2007). Sonraki çalışmalar mikroplastiklerin bulunduğu farklı bölgeleri araştırmış, çeşitli örnekleme ve ayırma tekniklerini karşılaştırmış ve mikroplastiklerin makroplastiklere veya zooplanktona göre oranını belirlemeye çalışmıştır (Moore vd., 2001; Ng & Obbard, 2006; Costa vd., 2010). Son yıllarda ise çalışmalar mikroplastiklerin dağılımındaki zamansal ve mekânsal değişiklikleri ve yayılma ve bozunma oranları ile mikroplastiklerin tanısını araştırmaya yönelmiştir (Sari Erkan vd., 2021).

2. Plastik Tarihçesi ve Küresel Plastik Üretimi

Fosil yakıtlardan elde edilen sentetik bir malzeme olan plastik, modern toplumda her yerde bulunur hale gelmiştir. İlk sentetik plastik olan selüloitin 1856 yılında Alexander Parkes tarafından geliştirildiği plastiğin tarihçesi 19. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır (Hollestelle & Hölsgens, 2017). Bununla birlikte, yeni plastik türlerinin icadı ve gelişmiş üretim teknikleri nedeniyle plastiklerin yaygın olarak kullanılması 20. yüzyıla kadar gerçekleşmemiştir (Crawford & Quinn, 2017). İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra çok yönlülüğü, dayanıklılığı ve düşük maliyeti nedeniyle plastiğe olan talep hızla artmış (Crawford & Quinn, 2017; Geyer, Jambeck & Law, 2017), 1950'de yıllık küresel plastik üretimi, ancak 1,5 milyon tona ulaşmıştır (PlasticsEurope, 2019). 1973 yılında yaşanan petrol krizi ve 2007 mali krizi sırasında üretimdeki düşüşe rağmen, 2009 yılına kadar küresel plastik malzeme üretimi önemli ölçüde artarak yıllık 250 milyon tona yükselmiştir. Tarihsel olarak, küresel plastik malzeme üretiminin her yıl yaklaşık %9 arttığı bildirilmektedir (Hirai vd., 2011). 2014 yılına kadar küresel üretim oranı yılda 311 milyon tona ulaşmıştır (World Economic Forum, 2016). Günümüzde ise bu değer 367 milyon ton değerini aşmıştır (PlasticsEurope, 2019). Bu ciddi üretim miktarlarının neticesinde oluşan plastik atıkların çevresel etkisi, okyanuslarda, toprakta ve hatta havada bulunan plastik kirliliğinin kanıtlarıyla birlikte son yıllarda büyük bir endişe kaynağı haline gelmiştir (Napper & Thompson, 2020). Halihazırda, plastik tüketimini azaltmak ve plastiğe daha sürdürülebilir alternatifler geliştirmek için çaba sarf edilmektedir (Okan, Aydın & Barsbay, 2018). 2022 yılı sonu itibarıyla 8 milyara ulaşmış olan Dünya nüfusunun 2100 yılına kadar 11 milyara yaklaşacağı tahmin edilmektedir. Bu da, mevcut trendin devam etmesi durumunda 2050 yılına kadar yaklaşık 33 milyar ton fazladan plastik üretileceği ve yıllık küresel üretimin de 850-1124 milyon ton arasında olacağını göstermektedir (Geyer vd., 2017).

Karada üretilen plastik atıkların önemli bir kısmı kaçınılmaz olarak su kaynaklarına ulaşmakta ve araştırmalar, atılan tüm plastiklerin %15 ila 40'ının okyanusa ulaştığını göstermektedir. Bu yüksek rakamın sebeplerinden biri, gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerin düşük maliyet sebebiyle vahşi depolama yöntemini tercih etmeleridir (Muenmee, Chiemchaisri & Chiemchaisri, 2015). Birleşmiş Milletler Deniz Kirliliğinin Bilimsel Yönleri Ortak Uzmanlar Grubu'na (GESAMP) göre, deniz ortamında bulunan atıkların %80'i karadaki kaynaklardan gelirken, diğer %20'si okyanusta gerçekleşen faaliyetlerin bir sonucudur (GESAMP, 2016).

Her yıl üretilen kümülatif plastiğin yaklaşık %33'ü tek kullanımlık olarak ya da başka bir ifadeyle yeniden kullanılamayacak şekilde tasarlanmaktadır ve üretimden sonraki 6 aylık bir süre içinde atık ürün haline gelmektedir. Plastik atıkların bertarafında kullanılan yollardan biri de yakmaktır. Ancak, plastik malzemelerin yakılması, insan sağlığına ciddi zararlar verebilen ve aynı zamanda çevreye oldukça zararlı olabilen furanlar ve dioksinler gibi oldukça toksik kimyasallar salmaktadır. Ayrıca, birçok ülke plastik atıkların geri dönüştürülmesini gerektiren mevzuatı uygulamamakta ve bunun yerine daha ucuz ve kolay olan katı atık depo sahasında bertarafı gerçekleştirmektedir (Crawford & Quinn, 2016; Kara, Sarı Erkan & Engin, 2022).

Küresel plastik geri dönüşüm oranları ise ülkelere ve bölgelere göre büyük farklılıklar göstermektedir. OECD verilerine göre, küresel plastik geri dönüşüm oranının %9 civarında olduğu tahmin edilmektedir (OECD, 2022). Bununla birlikte, %60'm üzerinde bir orana sahip olan Almanya gibi bazı gelişmiş ülkeler olmasına rağmen, Amerika Birleşik Devletleri gibi ekonomisi oldukça güçlü olmasına rağmen %9 civarında bir geri dönüşüm oranına sahip olan ülkeler de mevcuttur. Buna ek olarak, birçok ülke plastik atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesiyle mücadele etmekte ve bu da önemli çevre ve sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Plastik geri dönüşüm oranlarını artırmak ve plastik atıkları azaltmak için geri dönüşüm altyapısını iyileştirmek, politikalar ve düzenlemeler geliştirmek ve uygulamaya sokmak, tüketici bilincini ve davranış değişikliğini teşvik etmek de dahil olmak üzere çeşitli çabalar hükümetler tarafından sarf edilmektedir.

3. Plastik Atıkların Bozunması

Plastik atıklar, çevrede kalıcı olmaları ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle önemli bir çevre sorunudur. Plastik atıklar su ortamına girdiğinde, plastiğin fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak bozulma derecesi ve süresi ile birlikte çeşitli faktörler malzeme üzerinde yıkıcı etkilere sahip olmaya başlamaktadır. Plastiklerin bozunması için biyotik ve abiyotik olmak üzere iki ana yol vardır (Crawford & Quinn, 2016).

Biyotik bozunma, plastikteki karbonu bir enerji kaynağı olarak kullanan mikroorganizmalar gibi biyolojik organizmalar tarafından plastiklerin parçalanmasını içermektedir. Biyolojik olarak parçalanabilen plastiklerin bozunması iki aşamada gerçekleşen biyolojik süreçlere dayanır: (i) parçalanma (degradasyon) ve (ii) biyolojik bozunma (biyodegradasyon). Parçalanma sırasında oksijen, nem, ısı, ultraviyole ışık veya mikrobiyal enzimler gibi faktörler uzun polimer

zincirlerinin karbon-karbon bağlarını kırarak plastiğin parçalanmasına neden olur. Polimer yeterince parçalandığında, daha kısa karbonlu polimer zincirleri mikrobiyal hücre duvarlarından geçebilir ve mikroorganizmalar tarafından biyokütle, su, karbondioksit veya metan gazlarına dönüştürülebilir, bu da biyolojik bozunmanın meydana geldiğini göstermektedir (Bahl vd., 2021). Ancak malzemenin uygun bir biyolojik bozunur plastik olarak kabul edilebilmesi için bu iki aşamalı parçalanma/bozunma sürecinin kabul edilebilir bir hızda gerçekleşmesi ve çevre üzerinde olumsuz bir etki yaratmaması gerekmektedir. Plastiklerin özellikleri doğrudan biyolojik bozunabilirliklerini etkilemektedir. Örneğin yüzey alanı, hidrofilik ve hidrofobik özellikler gibi polimer yüzey özellikleri ile polimerin kimyasal yapısı ve moleküler ağırlığı biyolojik bozunma süreçlerinde önemli rol oynamaktadır (Tokiwa vd., 2009).

Plastiklerin abiyotik bozunması ise plastik malzemelerin mekanik kuvvet, sıcaklık, ışık, gaz ve su gibi çevresel faktörlerden kaynaklanan aşınmasını ifade etmektedir. Plastik malzemelerin geliştirildiği ilk yıllarda, plastiklerin bozunması büyük bir sorun olarak görülmekteydi (Filiciotto & Rothenberg, 2021). Bununla birlikte, çağımızda, plastiklerin deniz de dahil olmak üzere tüm ortamlardaki kalıcılığı, üretim sürecinde polimerlerin stabilitelelerini ve dayanıklılıklarını artırmak için katkı maddelerinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Plastiklerin abiyotik olarak bozunması, termal veya foto-oksidatif bozunma ile gerçekleşmektedir (Crawford & Quinn, 2016). Termal bozunma, plastik malzemelerin sıcaklıktaki değişikliklerle parçalanması anlamına gelirken, foto-oksidatif bozunma, plastiklerin yoğun ultraviyole ışığa maruz kalması neticesinde kimyasal bağların kırılması ile gerçekleşmektedir (Fotopoulou & Karapanagioti, 2017).

4. Mikroplastiklerin Kaynakları

Mikroplastikler, okyanuslar, tatlı su ve hatta hava gibi çeşitli çevresel kompartmanlarda tespit edilmektedir. Mikroplastiklerin kaynakları arasında daha büyük plastik döküntülerin parçalanması, kişisel bakım ürünlerindeki mikro kürecikler, yıkama sırasında tekstil ürünlerinden dökülen lifler ve araba lastiklerinin ve yol işaretlerinin aşınması yer almaktadır (Nava & Leoni, 2021). Ayrıca, atıksu arıtma tesislerinden çıkan çıkış sularında ve tarım alanlarından yüzeysel akışa geçen sularda da mikroplastikler tespit edilmiştir (Nizetto vd., 2016; Leslie, vd., 2017; Kay vd., 2018).

4.1. Birincil mikroplastikler

Plastik endüstrisi, kozmetikler, kişisel bakım ürünleri, temizlik maddeleri ve kumlama gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmak üzere kasıtlı olarak birincil mikroplastikler olarak sınıflandırılan küçük küresel mikro boncuklar üretmektedir. Kişisel bakım ürünlerinde mikro boncukların kullanımı, birincil mikroplastiklerin çevreye salınmasına önemli bir katkıda bulunan unsur olarak tanımlanmaktadır (Leslie vd., 2011; Lee vd., 2013; Reisser vd., 2013). Mikro boncuklar, aşındırıcı özelliklerini arttırmak için yüz ovma, diş macunu ve vücut yıkama gibi ürünlere eklenmektedir. Bu ürünler kanalizasyon vasıtasıyla su ortamına ulaşmakta ve burada suda yaşayan organizmalar tarafından yutulmaktadır.

Geleneksel plastik parçacıklar 3 mm mertebesinde polimer flokları şeklinde üretilmektedir, ancak günümüzde eklemeli üretim gibi daha yenilikçi teknolojiler mikronize polimer parçacıkları 50 µm mertebesinde üretebilmektedir (Mitrano & Wohlleben, 2020). Normal şartlar altında üretim sırasında veya sonrasında bu kasıtlı olarak üretilmiş pelet ve polimer dispersiyonlarının çevreye salınması beklenmemektedir. Ancak, bu belirtilen plastik endüstrisi yan ürünlerinin çeşitli kazalar ve nakliye kayıpları neticesinde çevreye yayıldıkları bilinmektedir (Mitrano & Wohlleben, 2020). Yapılan bir araştırmaya göre, Birleşik Krallık'ta her yıl 53 milyara kadar peletin çevreye yayılabildiğini, bunun da 35 tanker dolusu peletin çevreye dökülmesine eşdeğer olduğunu göstermektedir (Cole & Sherrington, 2016).

Benzer şekilde, polyester, naylon ve akrilik gibi sentetik ipliklerden elde edilen mikrofiberler, yıkama veya kullanım sırasında çevreye yayılmaktadır. Bu mikrofiberler atıksu arıtma süreçlerinde filtrelenebilecek kadar küçük boyutlarda olduğundan nihai alıcı ortam olan nehirlere, denizlere ve okyanuslara salınmalarına neden olmaktadır. Bazı araştırmalar, tek bir çamaşır yükü ile çevreye 19.000'e kadar mikrofiber salındığını ortaya koymaktadır (Eerkes-Medrano, Thompson & Aldridge, 2015).

4.2. İkincil mikroplastikler

Büyük plastiklerin daha küçük plastik parçacıklara parçalanarak oluşan küçük plastik parçaları ikincil mikroplastikler olarak adlandırılmaktadır. Bu parçalanma, plastik türü, çevresel şartlar ve maruz kalma süresi dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenen karmaşık bir süreçtir (Stolte vd., 2015). Plastiklerin parçalanma süreci, yukarıda ayrıntılı bir şekilde verildiği üzere, fotodegradasyon, mekanik bozunma ve biyolojik bozunma gibi çeşitli mekanizmalarla gerçekleşmektedir. Fotodegradasyon en sık tespit edilen mekanizmadır ve plastiklerin güneşten gelen ultraviyole radyasyona maruziyeti ve dolayısıyla, plastik polimer zincirlerindeki kimyasal bağların parçalanmasıyla ortaya çıkmaktadır (Cole vd., 2011).

Plastiklerin mikroplastiklere parçalanması, onlarca yıl hatta yüzyıllar sürebilen yavaş bir süreçtir. Bu süre zarfında mikroplastikler uzun mesafeler kat edebilir, okyanus akıntıları ile taşınabilir ve uzak yerlere ulaşabilir. Mikroplastikler çevreye girdikten sonra, çeşitli organizmalar tarafından yutulabilecekleri deniz ve kara ekosistemleri için tehdit oluşturmaktadır. Son çalışmalar mikroplastiklerin toprakta da birikebileceğini ve potansiyel olarak karasal organizmaları ve tarımsal ürünleri etkileyebileceğini göstermiştir.

Plastik ürünlerin ayrışması, plastik kirliliği krizine önemli bir katkıda bulunmaktadır ve poşetler, şişeler ve kaplar gibi tek kullanımlık plastikler başlıca sorumlu ürünler olarak gösterilmektedir. Tek kullanımlık plastiklerin kullanımı küresel bir sorun olarak tanımlanmıştır ve bunların kullanımını azaltmak ve daha sürdürülebilir alternatifleri teşvik etmek için çaba sarf edilmektedir. Bununla birlikte, şu anda su ortamında tespit edilen mikroplastiklerin mekânsal dağılım yolları ve akıbeti hakkında ciddi bir bilgi boşluğu bulunmaktadır (An vd., 2020).

5. Mikroplastik Kirliliğinin Sonuçları ve Oluşturduğu Çevre Problemleri

Plastik atıkların oluşturduğu en önemli problemlerden biri, deniz ekosistemleri üzerindeki etkisidir. Uygun şekilde atılmayan ya da bertaraf edilmeyen plastik atıklar, deniz yaşamına ciddi zararlar verebileceği su yollarına ve okyanuslara ulaşmaktadır. Deniz organizmaları, okyanusa giren büyük miktarda plastik atık nedeniyle özellikle savunmasızdır (Cózar vd., 2014). Mikroplastikler, planktondan yüksek canlılara kadar besin zincirinin tüm seviyelerinde bulunmuştur. Özellikle suda yaşayan organizmalara önemli zararlar verdiği bilinmektedir. Plastik atıkların organizmalar üzerindeki etkilerinin temel olarak dolanma ve yutulmadan kaynaklandığı tespit edilmiş olsa da (Fossi vd., 2012; Besseling vd., 2013; Gall & Thompson, 2015), sucul ortamda yaşayan canlılar tarafından yutulan parçalanmış plastik parçacıklarının canlı bünyesinde oluşturduğu etkilerin çok daha kalıcı ve yıkıcı etkileri olduğu konusunda da çalışmalar yürütülmektedir. Mikroplastiklerin yutulması sindirim sisteminde fiziksel hasara neden olarak yetersiz beslenme, açlık ve ölüme yol açmaktadır (Alimba & Faggio, 2019; Senko vd., 2020). Bu alandaki araştırmalar henüz başlangıç aşamasında olsa da, çalışmalar plastik ve mikroplastiklere maruz kalmanın endokrin sisteminde bozulmalara, bağışıklık sisteminde baskılanmaya ve üreme bozukluklarına sebep olabileceği ortaya konmuştur (Godswill & Godspel, 2019). Mikroplastikler ayrıca, organizmaların dokularında birikerek uzun vadeli sağlık etkilerine yol açabilen kalıcı organik kirleticiler gibi toksik kimyasalların taşınması için vektör görevi görmektedir (Anbumani & Kakkar 2018; Haegerbaeumer vd., 2019; Kögel vd., 2020; Rodrigues vd., 2019; Okoye vd., 2022). Dahası, plastik kirliliğinin tüm ekosistemler üzerinde besin döngüsünü, besin ağlarını ve biyoçeşitliliği etkileyen geniş kapsamlı etkileri olduğu bildirilmektedir (Galloway & Thompson, 2011). Plastik ve mikroplastik kirliliğinin potansiyel ekolojik ve insan sağlığı riskleri nispeten yeni araştırma alanıdır ve bazı hususlardaki belirsizlikler üzerinde çalışılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Mikroplastik partiküllerin kompleks yapıları, ekotoksikolojik sonuçlarının anlaşılmasını da güçleştirmektedir (Rochman vd., 2019). Konu ile ilgili çeşitli uluslararası otoriteler, mikroplastiklerin çevre ve biyota sağlığı üzerindeki potansiyel riskleri hakkında değerlendirmeler yapmıştır. Ancak bu değerlendirmeler, mikroplastiklerin fizikokimyasal heterojenliği ve farklı türler ve çevresel kompartmanlar arasındaki çok değişken oranlarda bulunmaları sebebiyle birçok belirsizlik ve bilgi boşluğunu beraberinde getirmektedir.

Ekotoksikolojik etkilerinin yanında, mikroplastiklerin çevrede birikmesi beraberinde çeşitli ekonomik sonuçlar da doğurmaktadır. Özellikle kıyı turizmi, balıkçılık ve deniz kaynaklarına dayanan diğer endüstriler, mikroplastik kirliliğinin ekosistem üzerindeki etkisi nedeniyle risk altındadır (Mofijur vd., 2021). Buna ek olarak, mikroplastiklerin sudan ve topraktan uzaklaştırması hem teknik açıdan hem de maliyet olarak yerel yönetimler ve diğer ilgili kurumlara ciddi bir yük getirmektedir (Usman vd., 2022). Mikroplastik kirliliğinin çeşitli sosyal etkileri de bulunmaktadır. Toplumların mikroplastiklere maruz kalması, özellikle geçimlerini deniz kaynaklarından sağlayanların sağlıklarını ve refahlarını etkileyebilmektedir.

6. Mikroplastik Kirliliğinin Azaltılmasına Yönelik Tedbirler

Kişisel bakım ve temizlik ürünlerinde kullanılan küçük plastik parçacıklar olan mikro boncuklar, gezegenin ekosistemleri üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle giderek artan bir çevresel endişe kaynağı haline gelmiştir. Buna karşılık, çeşitli ülkeler sorunu ele almak için farklı önlemler uygulamaya koymuştur. Ruanda'da 2008'den beri uygulanan plastik poşet yasağı ve Almanya'da 1990'lardan beri plastik malzemelerin %90'ının geri dönüştürülmesi gibi plastik atıkların azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Avrupa Birliği de tek kullanımlık plastik malzemelerin kullanımını yasaklamaya başlamış ve plastiklere yönelik geri dönüşüm hedeflerini arttırmıştır. 2015 yılında Amerika Birleşik Devletleri, Obama yönetimi sırasında tüketici ürünlerinde birincil mikroplastiklerin kullanımı yasaklanmıştır (Schlachter, 2019). Mikro boncukların yasaklanması, su kütlelerindeki mikroplastik seviyelerinde bir azalmaya yol açarak plastik kirliliği krizinin hafifletilmesinde düzenleme ve politika müdahalelerinin önemini vurgulamıştır. Birleşik Krallık 2018 yılında kişisel bakım ürünleri ve kozmetiklerde mikro boncukların üretimini ve satışını yasaklamıştır (<https://www.gov.uk>). Bu arada, Avrupa'da 2019 yılında kozmetik, boya ve deterjan gibi ürünler de dahil olmak üzere mikroplastiklerin %90'ının aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması için bir yasa taslağı hazırlamıştır. Fransa ve İsveç de dahil olmak üzere birçok Avrupa ülkesi bundan önce kendi yasaklarını uygulamaya koymuştur. Avustralya 2015 yılında kozmetik, temizlik ve kişisel bakım ürünlerinde mikroboncukların gönüllü olarak kullanımdan kaldırılacağını duyurmuştur, ancak şu anda mikroboncuk içeren ürünlerin yasaklanmasına yönelik bir mevzuat bulunmamaktadır. İlave olarak, 2018 yılında Yeni Zelanda, mikro boncuklu durulama kozmetik ürünlerinin ithalatına ve üretimine yönelik bir yasağı uygulamaya koymuştur (<https://environment.govt.nz>).

Türkiye'de mikroplastik oluşumuna neden olan makro boyutlu plastik ambalajların kontrol altına alınmasına yönelik düzenlemeler 2004 yılından bu yana yürürlüktedir. Ambalaj atıklarının oluşumunun azaltılması, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve geri kazanım yoluyla bertaraf edilmesi ve ambalaj atıklarının toplanması, taşınması ve ayrıştırılmasına ilişkin standartların oluşturulmasını amaçlayan plastik ambalajlar da dahil olmak üzere ambalaj atıklarının kontrolüne ilişkin ilk ulusal yönetmelik 2004 yılında yayımlanmıştır. Yönetmelik birkaç kez revize edilmiş olup, 2021 yılında yayımlanan en son versiyonunda ambalaj ve ambalaj atıklarının döngüsel ekonomi ve kaynak verimliliği ilkelerine dayalı belirli bir yönetim sistemi dahilinde yönetileceği belirtilmiştir. Yönetmelik ayrıca, belirli ambalajlı ürünlerin yeniden kullanımını sağlamak amacıyla depozito yönetim sisteminin uygulanmasını da içermektedir. Depozito Sistem Yöneticisi olarak görev yapan Türkiye Çevre Ajansı sistem ile alakalı değerlendirme ve düzenlemelerden sorumlu kurumdur. Depozito Yönetim Sistemi Uygulamalarına İlişkin Usul ve Esaslar güncellenmiş ve Türkiye Çevre Ajansı web sitesinde yayımlanmıştır (<https://www.tuca.gov.tr>). Kapsama giren ambalajlı ürünlerin piyasaya sürülmesi için pilot ölçekli uygulamalara başlanmıştır. Pilot uygulamaların ilk adresi Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ana Hizmet Binası ile Ankara İli Kızılcahamam İlçesi olarak belirlenmiştir. Pilot uygulamaların 2023 yılı içerisinde yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Ulusal ölçekli hazırlık ve test çalışmalarının 2023 yılında tamamlanmasının ardından, içecek ambalajları için fiili depozito uygulamaları 1/1/2024 tarihinde başlatılacaktır.

Sonuç olarak, tüketici ürünlerinde birincil mikroplastiklerin kullanımı çevre üzerinde önemli etkilere sahiptir ve mikro boncuklar ve mikrofiberler mikroplastik kirliliğine en büyük katkıda bulunanlar arasında yer almaktadır. Birincil mikroplastiklerin üretimi ve kullanımı, çevreye salınmalarını ve ardından deniz yaşamı ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkilerini önlemek için düzenlenmelidir. Mikro boncuk içeren sentetik tekstil ve kişisel bakım ürünlerine sürdürülebilir alternatiflerin kullanılmasının, birincil mikroplastiklerin çevreye salınımını azaltmaya yönelik bir adım olduğu düşünülmektedir.

7. Sonuç ve Öneriler

Bazı ülkeler, plastik atıkları azaltmak ve mikroplastik kirliliğini önlemek için çeşitli yasal önlemler uygulamaya koymuştur. Bu önlemler arasında pipet, poşet ve mutfak eşyaları gibi tek kullanımlık plastiklerin yasaklanmasının yanı sıra tüketicileri alternatif ürünler kullanmaya teşvik etmek için plastik ürünlere uygulanan vergi ve harçlar da yer almaktadır. Buna ek olarak, birçok ülke, üreticilerin ürünlerinin bertarafı ve geri dönüşümü için sorumluluk almalarını gerektiren genişletilmiş üretici sorumluluğu programlarını uygulamaya koymuştur (Kosior & Crescenzi, 2020). Mikroplastik kirliliğini önlemek için bazı ülkeler kişisel bakım ürünlerinde mikro kürecik kullanımını yasaklamış, bazıları ise tekstil ve diğer ürünlerden çevreye mikroplastik salınımına ilişkin düzenlemeler getirmiştir (Bhattacharya, 2016). Ancak, plastik kirliliği sorununu etkili bir şekilde ele almak ve çevre ile insan sağlığına daha fazla zarar gelmesini önlemek için daha kapsamlı ve koordineli küresel çabalara ihtiyaç vardır.

Türkiye son yıllarda mikroplastik kirliliğini önlemek için tek kullanımlık poşetlerin ücretlendirilmesi ve plastik atık yönetimine yönelik düzenlemelerin hayata geçirilmesi gibi bazı adımlar atmıştır. Potansiyel çözümlerden biri, özellikle gıda ambalajları ve alışveriş poşetleri gibi tek kullanımlık ürünlerde geleneksel plastiklere biyolojik olarak parçalanabilir veya kompostlaştırılabilir alternatiflerin kullanımını teşvik etmektir. Ayrıca, mikroplastiklerin zararlı etkileri ve atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesinin önemi konusunda kamuoyu bilincinin artırılması ve daha sorumlu tüketim alışkanlıklarının teşvik edilmesi gerekmektedir. İlave olarak, endüstriyel atıksu deşarjı konusunda daha sıkı düzenlemelerin uygulanması ve arıtımda yeni teknolojilerin kullanılmasının da mikroplastiklerin nihai alıcı ortama karışmasını önlemeye yardımcı olacağı düşünülmektedir. Genel olarak, Türkiye’de mikroplastik kirliliğiyle etkin bir şekilde mücadele etmek için eğitim, düzenleme ve inovasyonu birleştiren çok yönlü bir yaklaşım gereklidir.

8. Kaynaklar / References

- Alimba, C. G., & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 68, 61-74
- An, L., Liu, Q., Deng, Y., Wu, W., Gao, Y., & Ling, W. (2020). *Sources of Microplastic in the Environment*. In: He, D., Luo, Y. (eds) *Microplastics in Terrestrial Environments*. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 95. Springer, Cham.
- Anbumani, S., & Kakkar, P. (2018). Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review. *Environmental Science Pollution Research*, 25(15), 14373–14396. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1999-x>

- Anderson, Z.T., Cundy, A.B., Croudace, I.W., Warwick, P.E., Celis-Hernandez, O., & Stead, J.L. (2018). A rapid method for assessing the accumulation of microplastics in the sea surface microlayer (SML) of estuarine systems. *Scientific Reports*, 8(1), 1-11.
- Andrady, A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605.
- Bahl, S., Dolma, J., Singh, J.J., & Sehgal, S. (2021). Biodegradation of plastics: A state of the art review. *Materials Today: Proceedings*, 39(1), 31-34.
- Besseling, E., Wegner, A., Fockema, E.M., Van Den Heuvel-Greve, M.J., & Koelmans, A.A. (2013). Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina* (L.). *Environmental Science and Technology*, 47(1), 593–600. <https://doi.org/10.1021/es302763x>
- Bhattacharya, P. (2016). A review on the impacts of microplastic beads used in cosmetics. *Acta Biomedica Scientia*, 3(1), 47-52.
- Browne, M.A., Rochman, C.M., Browne, M., Halpern, B., Hentschel, B., Hoh, E., & Thompson, R. (2013). Policy: Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494(7436), 169-171.
- Carpenter, E.J., & Smith Jr, K. (1972). Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, 175(4027), 1240-1241.
- Carpenter, E.J., Anderson, S.J., Harvey, G.R., Miklas, H.P., & Peck, B.B. (1972). Polystyrene spherules in coastal waters. *Science*, 178(4062), 749-750.
- Cole, G., & Sherrington, C. (2016). *Study to quantify pellet emissions in the UK- Eunomia*: Bristol, UK.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T.S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 2588–2597.
- Costa, M.F., Ivar do Sul, J.A., Silva-Cavalcanti, J.S., Araújo, M.C.B., Spengler, Â., & Tourinho, P.S. (2010). On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 168(1), 299-304.
- Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Palma, Á.T., Navarro, S., García-de-Lomas, J., & Ruiz, A. (2014). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(28), 10239-10244.
- Crawford, C.B., & Quinn, B. (2016). *Microplastic pollutants*. Elsevier Limited.
- Depledge, M., Galgani, F., Panti, C., Caliani, I., Casini, S., & Fossi, M. (2013). Plastic litter in the sea. *Marine Environmental Research*, 92, 279-281.
- Eerkes-Medrano, D., Thompson R.C., & Aldridge, D.C. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritization of research needs. *Water Research*, 75, 63-82.
- Fendall, L.S., & Sewell, M.A. (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers. *Marine Pollution Bulletin*, 58(8), 1225-1228.
- Filiciotto, L., & Rothenberg, G. (2021). Biodegradable Plastics: Standards, Policies, and Impacts. *ChemSusChem*, 14, 56–72.
- Fossi, M.C., Panti, C., Guerranti, C., Coppola, D., Giannetti, M., Marsili, L., & Minutoli, R. (2012). Are balen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean finwhale (*Balaenoptera physalus*). *Marine Pollution Bulletin*, 64(11), 2374–2379. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.08.013>
- Fotopoulou, K.N., & Karapanagioti, H.K. (2017). *Degradation of Various Plastics in the Environment*. In: Takada, H., Karapanagioti, H. (eds) *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 78. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51111-1_11

- Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A.V., & Viñas, L. (2018). Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 365-376.
- Gall, S.C., & Thompson, R.C. (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin*, 92(1-2), 170-179.
- Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulations of microplastic on shorelines worldwide, sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 45, 91759179.
- Gerdt, G. (2019). Defining the BASElines and standards for MicroplasticsANalyses in European waters: Final report Project BASEMAN.
- GESAMP (2019) www.gesamp.org (Erişim tarihi: Nisan 2023)
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. doi: 10.1126/sciadv.1700782
- Godswill A. C., & Godspel, A. C. (2019). Physiological Effects of Plastic Wastes on the Endocrine System (Bisphenol A, Phthalates, Bisphenol S, PBDEs, TBBPA). *International Journal of Bioinformatics and Computational Biology*, 4(2), 11-29.
- Haegerbaeumer, A., Mueller, M-T., Fueser, H., & Traunspurger, W. (2019). Impacts of micro- and nano-sized plastic particles on benthic invertebrates: a literature review and gap analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00017>
- Hirai, H., Takada, H., Ogata, Y., Yamashita, R., Mizukawa, K., Saha, M., Kwan, C., Moore, C., Gray, H., & Laursen, D. (2011). Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1683-1692.
- <https://environment.govt.nz/acts-and-regulations/regulations/microbeads-regulations> (Erişim tarihi: Nisan, 2023)
- <https://www.gov.uk/government/news/world-leading-microbeads-ban-comes-into-force> (Erişim tarihi: Nisan, 2023)
- <https://www.tuca.gov.tr/sayfa/turkiye-cevre-ajansi-baskanliginin-sistemdeki-rolu> (Erişim tarihi: Nisan, 2023)
- Kara, N., Sarı Erkan, H., & Engin, G. (2022). Characterization and Removal of Microplastics in Landfill Leachate Treatment Plants in Istanbul, Türkiye. *Analytical Letters*. <https://doi.org/10.1080/00032719.2022.2137808>
- Kay, P., Hiscoe, R., Moberley, I., Bajic L., & McKenna, N. (2018). Wastewater treatment plants as a source of microplastics in river catchments. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 20264–20267.
- Kosior, E., & Crescenzi, I. (2020). *Solutions to the plastic waste problem on land and in the oceans, in Plastic Waste and Recycling: Environmental Impact, Societal Issues, Prevention, and Solutions*, 415-446, Academic Press.
- Kögel, T., Bjoroy, O., Toto, B., Bienfait, A.M., & Sanden, M. (2020). Micro- and nanoplastic toxicity on aquatic life: determining factors. *Science of the Total Environment*, 709, 136050. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136050>
- Lassen, C., Hansen, S.F., Magnusson, K., Norén, F., Hartmann, N.I.B., Jensen, P.R., Nielsen, T.G., & Brinch, A. (2015). *Microplastics-Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark*. Ministry of Environment and Food of Denmark, Environmental Protection Agency, Environmental Project No. 1793, 2015.
- Lee, J., Hong, S., Song, Y.K., Hong, S.H., Jang, Y.C., Jang, M., Heo, N.W., Han, G.M., Lee, M.J., & Kang, D. (2013). Relationships among the abundances of plastic debris in different size classes on beaches in South Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1-2), 349-354.

- Leslie, H., Van der Meulen, M., Kleissen, F., & Vethaak, A. (2011). Microplastic litter in the Dutch marine environment. *IVM Institute for Environmental Studies*, 97.
- Leslie, H.A., Brandsma, S.H., van Velzen, M.J.M., & Vethaak, A.D. (2017). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International*, 101, 133-142.
- Lintsen, H.W., Hollestelle, M.J., & Hölsgens, H.N.M. (2017). *The plastics revolution: how the Netherlands became a global player in plastics*. Technology, Innovation & Society, Eindhoven, Foundation for the History of Technology.
- Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. NOAA Marine Debris Division Silver Spring, MD.
- McDermid, K.J., & McMullen, T.L. (2004). Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago. *Marine Pollution Bulletin*, 48(7-8), 790-794.
- Mitrano D. M., & Wohlleben, W. (2020). Microplastic regulation should be more precise to incentivize both innovation and environmental safety. *Nature Communications*, 11, 5324.
- Mofijur, M., Ahmed, S.F., Ashrafur Rahman, S.M., Siddiki, S.K. Saiful Islam, A.B.M., Shahabuddin, M., Hwai Chyuan Ong, H.C., Mahlia, T.M.I., Djavanroodi, F., & Show, P.L. (2021). Source, distribution and emerging threat of micro- and nanoplastics to marine organism and human health: Socio-economic impact and management strategies, *Environmental Research*, 195, 110857.
- Moore, C.J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 108(2), 131-139.
- Moore, C.J., Moore, S.L., Leecaster, M.K., & Weisberg, S.B. (2001). A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 42(12), 1297-1300.
- Muenmee, S., Chiemchaisri, W., & Chiemchaisri, C. (2015). Microbial consortium involving biological methane oxidation in relation to the biodegradation of waste plastics in a solid waste disposal open dump site. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 172-181.
- Napper, I.E., & Thompson R.C. (2020). *Plastic Debris in the Marine Environment: History and Future Challenges*. *Global Challenges*, 4(6), 1900081. <https://doi.org/10.1002/gch2.201900081>
- Nava, V., & Leoni, B. (2021). A critical review of interactions between microplastics, microalgae and aquatic ecosystem function. *Water Research*, 188, 116476.
- Ng, K., & Obbard, J.P. (2006). Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 52(7), 761-767.
- Nizzetto, L., Bussi, G., Futter, M.N., Butterfield, D., & Whitehead, P.G. (2016). A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 18, 1050-1059.
- OECD (2022). <https://www.oecd.org/environment/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.htm>
- Okan, M., Aydin, H.M., & Barsbay, M. (2018). Current approaches to waste polymer utilization and minimization: a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(1), 8-21. <https://doi.org/10.1002/jctb.5778>
- Okoye, C.O., Addey, C.I., Oderinde, O., Okoro, J.O., Uwamungu, J.Y., Ikechukwu, C.K., Okekek, E.S., Ejeromedoghene, O., & Odi, E.C. (2022). Toxic Chemicals and Persistent Organic Pollutants Associated with Micro-and Nanoplastics Pollution. *Chemical Engineering Journal Advances*, 11, 100310.

- Plastics Europe, 2019. Plastics - the facts 2019. Available at: https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf
- Reisser, J., Shaw, J., Wilcox, C., Hardesty, B.D., Proietti, M., Thums, M., & Pattiaratchi, C. (2013). Marine plastic pollution in waters around Australia: characteristics, concentrations, and pathways. *PLoS one*, 8(11), e80466.
- Rocha-Santos, T., & Duarte, A.C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47-53.
- Rochman, C.M., Brookson, C., Bikker, J., Djuric, N., Earn, A., Bucci, K., Athey, S., Huntington, A., McIlwraith, H., Munno, K., Frond, H.D., Kolomijeca, A., Erdle, L., Grbic, J., Bayoumi, M., Borrelle, S.B., Wu, T., Santoro, S., Werbowski, L.M. et al. (2019). Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(4), 703–711. <https://doi.org/10.1002/etc.4371>
- Rodrigues, J.P., Duarte, A.C., Santos-Echeandía, J., & Rocha-Santos, T. (2019). Significance of interactions between microplastics and POPs in the marine environment: A critica overview. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 111, 252-260.
- Sari Erkan, H., Bakaraki Turan, N., Albay, M., & Engin, G. (2021). Microplastic pollution in seabed sediments at different sites on the shores of Istanbul-Türkiye: Preliminary results. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129539.
- Schlachter, C. T. (2019). Regulation *Trends on Plastic Bag Bans and Preemptions*. Working Paper, http://www.christinaphd.com/wp-content/uploads/2019/12/SchlachterC_PlasticBag_Reg_2019_Dec.pdf.
- Senko, J. F., Nelms, S. E., Reavis, J. L., Witherington, B., Godley, B.J., & Wallace, B. P. (2020). Understanding individual and population-level effects of plastic pollution on marine megafauna. *Endangered Species Research*, 43, 234-252.
- Stolte, A., Forster, S., Gerds, G., & Schubert, H. (2015). Microplastic concentrations in beach sediments along the German Baltic coast. *Marine Pollution Bulletin*, 99, 216-229.
- Teuten, E.L., Rowland, S.J., Galloway, T.S., & Thompson, R.C. (2007). Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environmental Science & Technology*, 41(22), 7759-7764.
- Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of Plastics. *International Journal of Molecular Science*, 10(9), 3722–3742.
- Usman, S., AbdullRazis, A.F., Shaari, K., Azmai, M.N.A., Saad, M.Z., Mat Isa, N., & Nazarudin, M.F. (2022). The Burden of Microplastics Pollution and Contending Policies and Regulations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 6773. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116773>
- World Economic Forum (2016). *The New Plastic Economy, Rethinking the future of plastics*. 1-36. https://www.greenpeace.org/static/planet4-philippines-stateless-release/2019/05/b1e5a437-b1e5a437-wef_the_new_plastics_economy.pdf
- Yamashita, R., & Tanimura, A. (2007). Floating plastic in the Kuroshio current area, western North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 4(54), 485-488.

Yazarlar Hakkında / About Authors

**Prof. Dr. Güleda ENGİN | Yıldız Teknik Üniversitesi | [gengin\[at\]yildiz.edu.tr](mailto:gengin[at]yildiz.edu.tr) |
ORCID: 0000-0002-3841-8440**

Güleda Engin, lisans öğrenimini 1992 senesinde Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. Boğaziçi Üniversitesi, Çevre Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans tez aşamasında iken Millî Eğitim Bakanlığı bursu ile İngiltere'ye gitmiştir. Hertfordshire Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans tezini 1997'de tamamladıktan sonra Imperial College, Kimya ve Proses Mühendisliği Bölümü'nde doktora tezini 2000 yılında tamamlayarak doktor unvanını almıştır. 2001 yılı Mart ayında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü kadrosuna katılan Güleda Engin, Kasım 2005'te doçent, Haziran 2012'de profesörlük unvanına hak kazanmıştır. Hâlen Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Bölüm Başkanlığı görevini yürütmektedir. İlgi alanları arasında aerobik/ anaerobik atıksu arıtımı, membran biyoreaktörler, mikrokirletici giderimi ve mikroplastik kirliliği bulunmaktadır.

**Prof. Dr. Güleda ENGİN | Yıldız Technical University | [gengin\[at\]yildiz.edu.tr](mailto:gengin[at]yildiz.edu.tr) |
ORCID: 0000-0002-3841-8440**

Güleda Engin completed her undergraduate studies at Dokuz Eylül University, Department of Environmental Engineering in 1992. While working on her master's thesis at Boğaziçi University, Institute of Environmental Sciences, she went to the UK with a scholarship from the Ministry of National Education. After completing her MPhil thesis at the University of Hertfordshire, Department of Civil Engineering in 1997, she completed her doctoral studies at Imperial College, Department of Chemical and Process Engineering in 2000. In March 2001, Güleda Engin joined the academic staff of Gebze Institute of Technology and was promoted to associate professor in November 2005 and to full professor in June 2012. She is currently the Head of the Department of Environmental Engineering at Yıldız Technical University. Her research interests include aerobic/anaerobic wastewater treatment, membrane bioreactors, micropollutant removal and microplastic pollution.

**Doç. Dr. Hanife SARI ERKAN | Yıldız Teknik Üniversitesi | [hsari\[at\]yildiz.edu.tr](mailto:hsari[at]yildiz.edu.tr) |
ORCID: 0000-0003-1701-6482**

Hanife Sarı Erkan, lisans derecesini 2008 yılında Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden almıştır. Yüksek lisansını 2012 yılında İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Çevre Mühendisliği Bölümü'nde, doktorasını ise 2017 yılında YTÜ'de aynı bölümde tamamladı. Nisan 2020'de Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde doçent oldu. Doç. Dr. Sarı Erkan birçok makale yayınlamış ve çeşitli ulusal ve uluslararası konferanslara katılmıştır. Araştırma alanları arasında aerobik atıksu arıtımı, membran biyoreaktörler, elektrokimyasal endüstriyel atıksu arıtma teknolojileri ve atıksu ve okyanuslardaki mikroplastikler yer almaktadır. SCI-indeksli dergilerde 45'ten fazla makalesi yayınlanmıştır. Doç Dr. Sarı Erkan, Mart 2020 - Haziran 2022 tarihleri arasında TÜBİTAK tarafından desteklenen Marmara Denizi ve İstanbul Boğazi'ndeki mikroplastik kirliliği üzerine bir proje yürütmüştür.

**Doç. Dr. Hanife SARI ERKAN | YıldızTechnicalUniversity | [hsari\[at\]yildiz.edu.tr](mailto:hsari[at]yildiz.edu.tr) |
ORCID: 0000-0003-1701-6482**

Hanife Sari Erkan got her BSc degree in 2008 from the Department of Environmental Engineering at Selcuk University, Türkiye. She completed her MSc degree in the Department of Environmental Engineering at the Yildiz Technical University (YTU), Istanbul in 2012 and her PhD in the same department at YTU in 2017. She became an associate professor in April 2020 in the Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering at Yildiz Technical University. Assoc. Prof. Dr. Sari Erkan has published many papers and participated in several national and international conferences. Her research areas include aerobic wastewater treatment, membrane bioreactors, electrochemical industrial wastewater treatment technologies and microplastics in wastewater and oceans. She published more than 45 articles in SCI-indexed Journal. Assoc. Prof. Dr. Sari Erkan was conducted a project on microplastic pollution in the Marmara Sea and Istanbul Bosphorus which funded by TUBITAK between March 2020 and June 2022.