

*Derleme Makalesi - Review Article*

## **Mikroplastik Kirliliği: Sağlık Riskleri ve Sürdürülebilir Çözüm Önerileri**

### **Microplastic Pollution: Health Risks and Sustainable Solutions**

Burcu Sarı Gençay<sup>1\*</sup>

*Geliş / Received: 20/02/2024*

*Revize / Revised: 05/07/2024*

*Kabul / Accepted: 31/07/2024*

#### **ÖZ**

Günlük hayatta yaygın olarak kullanılan plastik malzemeler deniz ekosistemlerinde ciddi bir kirliliğe neden olmaktadır. Plastik atıkların çevreye bırakılmasıyla oluşan mikroplastikler özellikle okyanus ve denizlerde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Mikroplastiklerin su kaynakları, gıdalar ve suda yaşayan canlılar aracılığıyla insan vücuduna geçişi cilt teması ve oral yolla gerçekleşmektedir. Ancak bu geçişin sağlık üzerindeki etkileri tam olarak anlaşılamamıştır. Mikroplastiklerin solunum yoluyla alımı ise sadece atmosferik mikroplastiklerin insan vücuduna geçişi ile olabilmektedir. Yapılan çalışmalar su kaynaklarında ve suda yaşayan canlılarda mikroplastik varlığını ortaya koymuş ve gıda maddelerinde de mikroplastik bulunabileceğini göstermiştir. Bu derlemede mikroplastiklerin oluşumu, insanlara geçişi ve çevre ile insan sağlığı üzerindeki etkileri incelenerek plastik kirliliğiyle mücadelede sürdürülebilir balıkçılık yöntemlerinin önemi vurgulanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler - Mikroplastikler, Deniz Ekosistemi, Sağlık, Sürdürülebilir Balıkçılık**

#### **ABSTRACT**

Plastic materials widely used in daily life cause serious pollution in marine ecosystems. Microplastics, which are formed when plastic wastes are released into the environment, have negative effects especially in oceans and seas. The transfer of microplastics into the human body through water sources, food and aquatic organisms occurs through skin contact and oral route, but the health effects of this transfer are not fully understood. Inhalation of microplastics can only occur with the passage of atmospheric microplastics into the human body. Studies have demonstrated the presence of microplastics in water sources and aquatic organisms and have shown that microplastics may also be present in foodstuffs. In this review, the formation of microplastics, their transfer to humans and their effects on the environment and human health are examined and the importance of sustainable fishing methods in combating plastic pollution is emphasized.

**Keywords- Microplastics, Marine Ecosystem, Health, Sustainable Fisheries**

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [burcu.sari@kapadokya.edu.tr](mailto:burcu.sari@kapadokya.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-2847-297X>)

*Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kapadokya Üniversitesi, Nevşehir, Türkiye*

## I. GİRİŞ

Kıyı ve deniz alanları sürekli ve artan şekilde devam eden insan faaliyetlerinin etkisi altında kalmaktadır. Pestisitler, ağır metaller, plastikler ve mikroplastikler gibi kirlletici maddeler deniz ekosistemine zarar vermektedir. Denizlerdeki atık kirliliği, okyanusların tüm bölümlerini etkileyen küresel bir çevre sorunu haline gelmiştir [1]. Temel olarak kötü atık yönetim uygulamaları ve standart altyapı eksikliğinin bir sonucu olan bu durum sağlık, ekonomi ve çevre açısından sorunlara neden olmaktadır [2].

Geçtiğimiz yetmiş yılda plastik üretiminde sürekli bir artış olmuş ve 1950'lerde 1,5 milyon ton iken 2020'de 367 milyon tona yükselmiştir. Plastik üretimi ve bunun sonucunda ortaya çıkan atık üretimi 1961'de yaklaşık 3,1 milyardan 2015'te yaklaşık 7,3 milyara yükselmiş ve 2050 yılında artan insan nüfusuyla 9 milyarı aşması tahmin edilmektedir [3].

Plastik nesneler çevreye karışıklarında bozunarak daha küçük parçalara ayrılırlar [4]. Mikroplastikler boyutları 0,1- 5000 µm arasında olan farklı şekillerdeki (parça, lif, granül, boncuk, pelet ve film) parçacıklardır [5]. Mikroplastikler birincil ve ikincil plastikler olarak sınıflandırılmaktadır [6]. Bu küçük plastik parçalar çeşitli yollarla kara ve deniz ortamına girmektedir. Mikroplastikler dünya okyanuslarına dağılmış durumdadır. Bu parçacıkların küçük boyutu onları deniz ortamındaki çok çeşitli organizmalar tarafından kolayca tüketilebilir hale getirmektedir. Zooplankton, midye, karides, balina ve birçok balık türünde mikroplastik bulunduğu araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir [7, 8, 9]. Çoğu insan özellikle balık ve diğer deniz ürünlerinin tüketiminden dolayı önemli miktarda mikroplastığa maruz kalmaktadır. Mikroplastiklerin insan sağlığına etkisi konusunda sınırlı bilgi bulunsada potansiyel toksik etkileri insanlar için önemli bir tehdit oluşturmaktadır [3]. Deniz ekosistemi, diğer ekosistemlere göre büyük ekonomik değerlere sahip ve biyolojik çeşitlilik açısından zengin bölgelerden biridir. Bilim insanlarının deniz suyundaki mikroplastik kirliliği üzerinde yoğun bir şekilde çalışmaları ve aynı zamanda mikroplastiklerin deniz organizmaları üzerindeki etkilerini belirleyerek, okyanustaki mikroplastik konsantrasyonunu azaltmaya yönelik önerilerde bulunmaları gerekmektedir. Bu çabalar, “sürdürülebilir kalkınma hedefi 14'ü (sürdürülebilir kalkınma için su altındaki yaşamı koruma)” gerçekleştirmeye yönelik önemli bir adım olacaktır [10].

Bu çalışma, deniz ekosistemindeki mikroplastik kirliliğinin kaynaklarına odaklanarak bu tür kirliliğin insan sağlığı üzerindeki olası etkilerini ele almakta ve aynı zamanda sürdürülebilir balıkçılığın önemi üzerine vurgu yaparak çevresel sorunlara karşı farkındalık oluşturmaya amaçlamaktadır.

## II. DENİZ EKOSİSTEMLERİNDE MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ VE KAYNAKLARI

Günümüzde plastik kirliliği okyanusların ve deniz biotasının karşı karşıya kaldığı en büyük çevre sorunlarından biridir. Plastik maddeler artık kıyı bölgelerden derin deniz tabanına, kuzey kutbundan tropik bölgelere kadar her yerde yaygın olarak bulunmaktadır [16, 17, 18]. Plastik maddeler denizlerde geniş dağılım göstermelerine rağmen belirli bölgelerde birikme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Yüzen plastiklerin okyanus girdaplarının olduğu yerlerde birikme ve ayrıca deniz tabanına doğru batma eğiliminde olduğu artık bilinen bir gerçektir [19].

Son yıllarda mikroplastiklerin su ortamında artış göstermesi çeşitli organizmalara yönelik potansiyel zararlar konusunda endişelere yol açmaktadır [11, 12]. Boyutları 5 mm'nin altında olan bu plastikler, birincil mikroplastikler (doğrudan üretilen) veya ikincil mikroplastikler (makroplastiklerin parçalanmasıyla oluşan) olarak ikiye ayrılmaktadır [13]. Birincil mikroplastikler, belirli endüstriyel veya evsel uygulamalar için mikroskobik boyutta olacak şekilde üretilen mikroplastiklerdir. Bunlar arasında yüz temizleyicisi, diş macunu, duş jeli, kese, peeling, göz farı, deodorant, allık, fondöten, maskara, tıraş kremi, bebek ürünleri, saç boyası, oje ve güneş kremi gibi kozmetik ürünlerinde kullanılan plastik parçacıklar ve sentetik giysiler, temizlik ürünlerinde bulunan aşındırıcılar ve sondaj sıvıları yer almaktadır [9]. Deniz ve karada bulunan daha büyük olan plastik kalıntıları zamanla mikroplastikler haline gelene kadar çeşitli faktörlere (güneş ışığı, sıcaklık, polimer boyutu ve yoğunluğu) maruz kaldıklarında daha küçük parçacıklara ayrılırlar. Bu tür mikroplastikler ikincil mikroplastikler olarak adlandırılır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin bir araya gelmesi makroplastik döküntülerin yapısal bütünlüğünü azaltarak parçalanmaya yol açar [14]. Her iki mikroplastik türü de (birincil ve ikincil) deniz ekosistemlerinde oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Her yıl yaklaşık 245 ton mikroplastik üretildiği ve bunların bir kısmının su kütlelerine karışarak deniz organizmalarının vücutlarına ve dokularına dahil olduğu tahmin edilmektedir [9].

Mikroplastiklerin parçalanması parçacıkların türüne ve çevre koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Mikroplastikler lifler, filmler ve parçacıklar gibi çeşitli formlarda bulunur. Lif tipi mikroplastikler çoğunlukla doğal ortamda gözlenmektedir [15].

Türkiye, Avrupa Birliği (AB) üyeliğine başvuran resmi aday ülkelerden biri olup bu katılım sürecinde deniz suları için Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (DSÇD, Marine Strategy Framework Directive, MSFD)

desteklenmesi gibi çevre konularında AB normlarına uyum sağlamaya çalışmaktadır [20]. Türkiye, Akdeniz ve Karadeniz'deki başlıca plastik kirliliğine sebep olan kaynaklardan biridir. Türkiye sularındaki plastik kirliliği ile ilgili çalışmalar genellikle deniz ortamında yapılmakla birlikte, tatlı su alanlarıyla ilgili araştırmalar sınırlıdır [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27]. Bu çalışmaların çoğunluğu Türkiye'nin kuzeydoğu Akdeniz kıyılarında özellikle İskenderun ve Mersin Körfezlerinde gerçekleştirilmiştir. Türkiye'nin denizleri ve kıyı bölgelerinde birçok araştırma yapılmıştır, bunların büyük çoğunluğu Akdeniz kıyılarında (İskenderun, Mersin ve Antalya körfezleri) gerçekleştirilmiş olup bunu Karadeniz, Marmara Denizi ve bağlı boğazlar ile Ege Denizi takip etmektedir [28]. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmaların bazıları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Türkiye karasularında plastik kirliliği ile ilgili yapılan çalışmalar

| Çalışma alanı                                   | Uygulama                                                                                                                                                                     | Bulgular                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Kaynakça |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Süreyyabey Barajı (Yozgat)                      | Farklı boyutlardaki ağlar (330 ve 100 µm) kullanılarak Türkiye'deki Süreyyabey Baraj Gölü'ndeki mikroplastiklerin türü, şekli, plastik bileşenleri ve rengi araştırılmıştır. | Liflerin, 330 µm ve 100 µm ağ boyutlarında bulunan toplam mikroplastiklerin sırasıyla %45 ve %80'ini oluşturan en bol parçacık türü olduğu tespit edilmiştir. Tanımlanan mikroplastiklerin renginin, mikroplastik türleri arasında farklılıklar gösterdiği; ancak her ağda baskın renk şeffaf olduğu bulunmuştur. Mikroplastiklerin ana plastik bileşenlerinin polietilen tereftalat, polivinil klorür, polistiren, polietilen ve polipropilen olduğu belirtilmiştir. | [24]     |
| Erzurum'da 2380 m yükseklikteki bir krater gölü | Göl yüzeyinin beş farklı noktasından örnekler toplanmış ve µ-Raman ve SEM cihazları kullanılarak analiz edilmiştir.                                                          | Tanımlanan mikroplastiklerin polietilen ve polipropilen olduğu belirlenmiştir. Tespit edilen mikroplastiklerin 8 ila 15 µm arasında farklı şekil ve boyutlara sahip olduğu bildirilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                            | [22]     |
| Cevdet Dünder Göleti (Yozgat)                   | Göletin yüzey suyundan alınan örneklerinde mikroplastik (<5 mm) kirliliği araştırılmıştır.                                                                                   | Gölet suyunun 1m <sup>3</sup> 'ünde ortalama 233 mikroplastik parçacığı tespit edilmiştir. %56 oran ile mikroplastik kirliliğinin en fazla gözlemlendiği boyut aralığının 100-250 µm olduğu bildirilmiştir. En yaygın gözlemlenen mikroplastik çeşidinin fiber (%91) olduğu ve renginin ise mavi (%36) olduğu tespit edilmiştir. En yaygın gözlemlenen mikroplastik türlerinin polipropilen (%50) ve polietilen (%40) olduğu belirtilmiştir.                          | [21]     |
| Van gölü                                        | 15 istasyondan su örnekleri toplanarak Van Gölü'ndeki mikroplastik seviyeleri araştırılmıştır.                                                                               | Bölgenin yüzey sularının yüksek düzeyde mikroplastiklerle kirlendiği tespit edilmiştir. En sık gözlemlenen mikroplastik türünün, boyutunun, şeklinin ve renginin sırasıyla lif (%40,5), <0,1 mm (%52,3), düzensiz (%40,8) ve mavi (%57,1) olduğu bildirilmiştir. Tespit edilen tüm mikroplastiklerin kimyasal yapısının, polietilen (%60,2), polipropilen (%20,4), polietilen tereftalat (%17,2) ve poli(metil akrilat) (%2,2) olduğu gözlemlenmiştir.                | [25]     |
| Uluabat Gölü ve Kocaçay Deltası (Bursa)         | Bursa ilinden iki bölge seçilerek mikroplastik birikimi üzerine değerlendirme yapılmıştır.                                                                                   | Uluabat gölünde liflerin en baskın mikroplastik türü olduğu tespit edilmiştir. En çok bulunan renklerin ise şeffaf (%34) siyah (%27), mavi (%19) ve kırmızı (%8) olduğu belirtilmiştir. Kocaçay deltasında, Uluabat Gölü'ne kıyasla daha fazla renk ve türde mikroplastik olduğu tespit edilmiştir. Siyah lifler (%33) en bol olanı iken bunu mavi (%22) ve kırmızı parçacıklar (%20) takip etmektedir.                                                               | [26]     |
| Muğla ve Antalya ili kıyıları                   | Yaz sezonunda (Haziran ve temmuz 2019) Türkiye'nin turistik koylarındaki çöp örnekleri toplanmış ve gezi teknelerinin bu atıkların oluşumuna etkisi araştırılmıştır.         | Belirlenen bölgelerin (66 istasyon) %39'unda çöp bulunmuştur. Toplam çöp sayısının yaklaşık üçte birinin plastiklerden (en fazla plastik poşetler ve şişeler) oluştuğu tespit edilmiştir. Yaz aylarında aktif olan gezi teknelerinin sayısı ile çöp miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir.                                                                                                                                                                       | [29]     |
| Marmara Denizi                                  | Pendik-Tuzla yakınlarında açık denizde toplanan örneklerin mikroplastiklerin miktarı ve özellikleri araştırılmıştır.                                                         | Toplanan tüm numunelerin mikroplastik içerdiği tespit edilmiştir. Toplanan örneklerde toplam on farklı mikroplastik türü tespit edilmiştir. En bol bulunan plastik türlerinin akrilonitril bütadien stiren, etilen vinil asetat ve polistiren olduğu belirtilmiştir. En yaygın morfolojik özelliklerin siyah ve parçalı düzensiz parçalar olduğu belirtilmiştir.                                                                                                      | [30]     |
| Marmara Denizi                                  | Marmara Denizi'ndeki yüzey sularında mikroplastiklerin konsantrasyonu incelenmiştir.                                                                                         | Toplanan parçacıkların minimum boyutunun 0,8 mm, maksimum 65,0 mm olduğu bildirilmiştir. Marmara Denizi'nin doğu kesiminde toplam 1148,0±124,4 adet, batı kesiminde ise 346,0±22,7 adet parçacık tespit edilmiştir. En sık görülen türün plastik parçalar, en baskın rengin ise beyaz olduğu belirtilmiştir.                                                                                                                                                          | [31]     |

Mikroplastikler sentetik giysilerin yıkanması (evsel atık suyu), plastik atıkların degradasyonu gibi farklı yollarla (karasal ve deniz temelli faaliyetler) deniz ortamına girmektedir. Suda yaşayan organizmalar tarafından yutulması ve dokularında birikmesi ise mikroplastiklerin biyolojik etkilerini göstermektedir [32]. Mikroplastikler ayrıca rüzgar ve akıntılar yoluyla da deniz ortamına karışmaktadır [33, 14]. Okyanuslardaki mikroplastik kaynaklarından biri de zooplankton dışkısı olup 2016 yılında yapılan bir çalışmada bu dışkı atıklarının deniz ortamında bir mikroplastik kaynağı oluşturduğu tespit edilmiştir [14].

Yaklaşık 475 farklı balık türünün plastik parçaları yuttuğu bilinmekte olup coğrafi konum, habitat ve besin zinciri seviyesindeki farklılıklar her bir türün plastik alımında değişkenlikler yaratmaktadır [34]. Nüfusun daha yoğun olduğu bölgeleri çevreleyen denizlerde veya birikim bölgelerinde herhangi bir tür için plastik içeren balık sayısı genellikle daha fazla olmuştur [35]. Deniz ortamında biriken plastik atıklar deniz memelileri, deniz kuşları, kaplumbağalar, balıklar ve kabuklular için giderek daha önemli tehlikeler oluşturmaktadır [2]. Birçok araştırmacı plastiklerin ve mikroplastiklerin omurgasızlar (midye, istiridye vb.) ve omurgalılar (deniz kaplumbağaları, balıklar ve deniz memelileri) dahil olmak üzere çok sayıda deniz organizmaları tarafından yutulduğunu belirtmiştir [36, 37, 38, 39]. Sonuç olarak, insanlar tarafından tüketilen çeşitli deniz ürünlerinde mikroplastik tespit edilmiştir [40, 41].

Fransız Polinezyası'ndaki Moorea Adası'ndaki tropikal balıkların mikroplastik varlığının araştırıldığı bir çalışmada 133 balığın %21'inin mikroplastik yuttuğu ve bu mikroplastiklerin %70'inin boyutunun 0,3 mm'yi geçmediği belirtilmiştir. Balıkların sindirim kanallarında lif, film, parça ve boncuk olmak üzere dört farklı türde mikroplastik tespit edilmiş ve %70 oran ile en çok bulunan mikroplastik türünün parça olduğu bildirilmiştir [42].

Kanarya Adaları kıyısındaki Atlantik Kefal Uskumrularında (*Scomber colias*) mikroplastiklerin sindiriminin değerlendirildiği bir çalışmada incelenen 120 balığın %78,3'ünde mikroplastik olduğu ve bunların %74,2'sinin lif, %17,5'unun plastik parçaları ve %16,7'sinin boya olduğu tespit edilmiştir [43].

2013 Haziran ile 2014 Mayıs tarihleri arasında Adriyatik Denizi'ndeki en önemli iki ticari tür olan sardalya (*Sardina pilchardus*) ve hamsinin (*Engraulis encrasicolus*) toplanarak mide içeriğindeki deniz atıklarının ve mikroplastiklerin araştırıldığı çalışmada, örneklerin %90'dan fazlasında deniz atığı ve mikroplastik olduğu bildirilmiştir. Sardalyalarda hamsilere kıyasla daha küçük boyutta ve daha fazla miktarda mikroplastik olduğu belirtilmiştir. Her iki türde de lif ve parçaların en çok temsil eden şekiller olduğu bildirilmiştir [44].

Basra Körfezi'nde bol miktarda bulunan ve ticari olarak değerli olan pelajik (yüzey) balıklarının (*Platycephalus indicus*, *Saurida tumbil*, *Sillago sihama*, *Cynoglossus abbreviatus*) ve karideslerin (*Penaeus semisulcatus*) farklı organlarında mikroplastik birikip birikmediğinin incelendiği çalışmada balıkların bağırsaklarında, derilerinde, kaslarında, solungaçlarında ve karaciğerlerinde toplamda 828 mikroplastik tespit edilmiştir. Tespit edilen mikroplastiklerin şeklinin çoğunlukla lifli olduğu bildirilmiştir. Mikroplastiklerin genellikle solungaçlarda ve mide-bağırsak kanalında diğer organlara göre daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Ortalama mikroplastik miktarları *Cynoglossus abbreviatus* için 0,16 g<sup>-1</sup>, karides (*Penaeus semisulcatus*) için 1,50 g<sup>-1</sup> olduğu tespit edilmiştir [45].

Son zamanlarda çok sayıda çalışma mikroplastiklerin balıklar tarafından yutulduğunu bildirmiştir [46]. Bu konuda Türkiye'de yapılmış bazı çalışmalar Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Türkiye'de deniz ürünlerinde mikroplastik tespiti ile ilgili yapılan çalışmalar

| Uygulama                                                                                                                                                   | Bulgular                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Kaynakça |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Türkiye kıyılarından toplanan Akdeniz midyelerindeki ( <i>Mytilus galloprovincialis</i> ) mikroplastiklerin miktarı, dağılımı ve bileşimi araştırılmıştır. | Örneklerin %64'ünün mikroplastik içerdiği belirlenmiştir. Mikroplastik değerleri açısından Karadeniz, Ege ve Marmara denizi arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir. Mikroplastiklerin şekilleri parçalar (%67,6), lifler (%28,4) ve filmler (%4,05) olarak gözlemlenmiştir. Midyelerde tespit edilen mikroplastiklerin başlıca polimer türlerinin PET (%32,9), PP (%28,4) ve PE (%19,4) olduğu belirlenmiştir.                                        | [20]     |
| Beyhan baraj gölünde (Elazığ, Türkiye) yaşayan zebra midyesindeki ( <i>Dreissena polymorpha</i> , Pallas 1771) mikroplastik kirliliği araştırılmıştır.     | Toplanan midyelerde toplamda 52 mikroplastik belirlenmiştir. Baskın rengin siyah olduğu bildirilmiştir. Ortak boyut aralığının 1001–2000 µm, baskın polimer şeklinin fiber ve ana polimer tipinin polipropilen (PP) olduğu tespit edilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                     | [47]     |
| Van Gölü'nde farklı konumlarda yakalanan İnci kefallerinin ( <i>Alburnus tarichi</i> ) içerdiği mikroplastik miktarı ve türü incelenmiştir.                | 101 balık örneğinin incelendiği bu çalışmada örneklerin tamamında mikroplastik bulunmuştur. Yutulan parçacıkların çoğunluğunu %74 oran ile liflerin oluşturduğu tespit edilmiştir. Örneklerde en çok bulunan plastiklerin renkleri beyaz (%2), kırmızı (%3), mavi (%58), siyah (%17) ve şeffaf (%17) olarak belirlenmiştir. Plastiklerin boyutların <0,1 mm ile 5,0 mm arasında değiştiği, en yaygın boyutun <0,1 (%25), 0,1–0,3 (%25) ve 1,0–5,0 mm (%27) olduğu belirlenmiştir. | [46]     |
| Akdeniz'in Türk karasularında mikroplastik miktarının ve dağılımının                                                                                       | Balıkların mide ve bağırsaklarında toplamda 1822 mikroplastik parçacık çıkarılmıştır. Parçacıkların çoğunluğunun lifler (%70,0) ve sert plastikler (%20,8)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | [48]     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| araştırıldığı çalışmada toplamda 28 tür ve 14 familyayı temsil eden 1337 balık ve deniz suyu örnekleri incelenmiştir                                                                                                                                                                                                   | olduğu bildirilmiştir. İncelenen tüm balıkların %34'ünün midesinde mikroplastik tespit edilmiştir. Yutulan mikropartiküllerin ortalama çapının 656±803 µm olduğu belirtilmiştir.                                                                                                                                                                                                                                                                                      |      |
| Karasu Nehri'nde (Erzurum) yaşayan sazan familyasına ait üç türün (kefal ( <i>Squalius cephalus</i> ), sazan ( <i>Cyprinus carpio</i> ) ve <i>Alburnus mossulensis</i> (mossul bleak)) gastrointestinal sistemlerindeki mikroplastik varlığı araştırılmıştır.                                                          | Her üç balığın gastrointestinal sisteminde 232 mikroplastik tespit edilmiştir. Belirlenen en yüksek renk siyah (%39-58) iken en sık görülen mikroplastik şeklinin lif (%88) olduğu belirtilmiştir. Polietilen, polyester, poli (vinil stearat), polietilen tereftalat, polipropilen ve selüloz tanımlanan plastik türleridir.                                                                                                                                         | [49] |
| Karasu Nehri'ndeki (Van) <i>Unio stevenianus</i> 'un dokularındaki mikroplastik miktarı ve çeşitliliği araştırılmıştır.                                                                                                                                                                                                | Toplanan tüm midye örneklerinde mikroplastik bulunmuştur. Mikroplastik boyutlarının <0,1 ila 5 mm arasında değiştiği ve <0,1 mm boyutunun %44,8 oran ile en baskın boyut olduğu tespit edilmiştir. En sık izole edilen mikroplastik türünün parça (%48,8) ve lif (%47,5) olduğu belirtilmiştir. Siyah renk yumuşak dokularda en sık rastlanan renk olmuştur (%48,8).                                                                                                  | [50] |
| Sürgü Baraj Gölü'nde (Malatya) 62'si <i>Cyprinus carpio</i> ve 45'i <i>Alburnus mossulensis</i> (mossul bleak) olmak üzere toplamda 107 balık yakalanmış ve mikroplastik miktarı, rengi, boyutu ve türü incelenmiştir.                                                                                                 | 62 <i>C. carpio</i> 'nun 27'sinde ve 45 <i>A. mossulensis</i> 'in 3'ünde en az 1 mikroplastik keşfedilmiştir. <i>C. carpio</i> ve <i>A. mossulensis</i> 'de tespit edilen mikroplastik sayısı sırasıyla 40 ve 4'tür. En sık karşılaşılan mikroplastik türünün lif olduğu belirtilmiştir. En baskın mikroplastik renklerinin şeffaf (%25), mavi ve siyah (%20) olduğu tespit edilmiştir. En çok tespit edilen mikroplastik türlerinin PET ve PP olduğu bildirilmiştir. | [51] |
| Karadeniz'de 7 ticari balık türünde ( <i>Engraulis encrasicolus</i> , <i>Trachurus mediterraneus</i> , <i>Sarda sarda</i> , <i>Belone belone</i> , <i>Pomatus saltatrix</i> , <i>Merlangius merlangus</i> and <i>Mullus barbatus</i> ) mikro (<5 mm), mezo (5-25 mm) ve makroplastik (>25 mm) oluşumu araştırılmıştır. | Plastikler tüm türlerin gastrointestinal sistemlerinde bulunmuştur. Toplamda 190 örnekten 352 plastik parça çıkarılmıştır. En yaygın plastik türünün lif (%68,5), en yaygın plastik renginin ise siyah (%39,3) olduğu belirtilmiştir. Plastiklerin %93,2'sinin mikroplastik, %6,5'unun mezoplastik ve %0,3'ünün makroplastik olduğu tespit edilmiştir. Karadeniz'deki ticari balıkların plastiklerle kontamine olduğu bildirilmiştir.                                 | [52] |

### III. DENİZ ÜRÜNLERİ VE MİKROPLASTİK KİRLİLİĞİ: SAĞLIK TEHDİTLERİ

Mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki etkileri hakkında çok az şey bilinmektedir. Ancak dünya çapında artan plastik yoğunluğuna bağlı olarak artan maruziyetin büyük bir tehdit oluşturduğu da açıktır. Mikroplastiklerin insan sağlığı üzerinde oksidatif stres, solunum sistemi hastalıkları, bağışıklık fonksiyonlarının bozulması, kanserojen ve nörotoksikite gibi önemli etkileri bulunmaktadır [53, 54].

Genel olarak mikroplastikler insan vücuduna beslenme (yiyecek ve su), solunum ve cilt teması (kişisel bakım ürünleri, tekstil) olmak üzere üç ana yoldan girmektedir. İnsan vücudunda mikroplastiklere maruz kalma esas olarak balık, meyve ve sebzeler, et, tahıllar ve baklagiller ve su gibi temel gıdalar dahil olmak üzere yiyecek ve içeceklerin tüketilmesiyle gerçekleşmektedir. Yiyecek ve içeceklerde en yaygın tespit edilen mikroplastikler polipropilen (PP), polietilentereftalat (PET), polivinil klorür (PVC), polietilen (PE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), poliamid (PA), polistiren (PS), genleştirilmiş polistiren (EPS) vb. dir [55, 56].

Mikroplastikler mercan, fitoplankton ve diğer deniz hayvanları gibi farklı su biyotalarında bulunmuştur. Toksik algelere maruz kalan mikroplastikler insan sağlığı üzerinde dolaylı olumsuz etkiye sahip olabilecek fitotoksinler üretmektedir. Denizel ekosistemlerde üretilen alg toksini diğer deniz ürünlerinde de birikebilir ve insanlarda tehlikeli semptomlara neden olabilir [57]. Tatlı su ve deniz ortamında bol miktarda bulunan mikroplastikler insanların besin zincirine dahil olmaktadır [56]. Dünyanın dört bir yanından yenilebilir dip, pelajik ve resif balıkları da dahil olmak üzere birçok deniz türleri araştırılmış ve mikroplastiklerin yutulduğu bulunmuştur [58, 59, 60]. Kabuklu deniz ürünleri ve kabuklular, dünya çapında insan gıdası olarak kullanılan ve insanların gıda güvenliği için çok önemli olan bir organizma grubudur. Farklı çalışmalarda, *Mytilidae* familyasından kabuklu deniz ürünleri olan midyelerin 0,20 ile 5,36 parçacık/g arasında değişen çeşitli miktarlarda mikroplastiklere sahip olduğu tespit edilmiştir [61, 62, 63, 56]. Yengeç, istakoz, kerevit ve karides gibi çeşitli kabuklu hayvan türlerinde de mikroplastiklerin olduğu bildirilmiştir [64, 45].

Yapılan çalışmalar balık etinde polietilen tereftalat (PET), polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC), poliamid (PA) ve polikarbonat dahil olmak üzere çeşitli mikroplastik türlerinin bulunduğunu göstermiştir [65]. Balık etinde en yaygın bulunan mikroplastik türleri kontaminasyon kaynağına ve balığın türüne bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin, gökkuşağı alabalığı filetoları üzerinde yapılan bir çalışmada araştırmacılar mikroplastiklerde polietilen, polipropilen ve polistiren dahil olmak üzere altı tür polimer tespit etmiştir [66]. Balık da dahil olmak üzere çeşitli yenilebilir türler üzerinde yapılan bir başka çalışmada mikroplastik içeriğinin türe bağlı olarak değiştiği ve bazı türlerin diğerlerine göre daha yüksek düzeyde mikroplastik içerdiği belirtilmiştir [67].

Mikroplastiklerle kontamine olmuş balıkların tüketilmesi sindirim, sinir ve üreme sisteminde hasara yol açmanın yanında kanser riskini artırma ve bağışıklık sisteminde bozulmaya neden olabilecek çeşitli potansiyel sağlık riskleri beraberinde getirebilmektedir [56].

Mikroplastiklerin temel sorunu, potansiyel toksik etkisi olan plastik parçacıkların bağırsak epiteline nüfuz ederek insanların sistematik olarak bu maddelere maruz kalmasıdır [68]. Plastik parçacıklar mide-bağırsak kanalındaki proteinler, lipitler, karbonhidratlar, nükleik asitler, iyonlar ve su dahil olmak üzere çeşitli moleküllerle etkileşime girebilmektedir [69]. Bağırsak, sindirim ve emilim gibi birçok aktif rol oynayan sindirim sisteminin önemli bir parçasıdır. Bağırsak florası diyabet, beyin hastalığı ve kardiyovasküler hastalık gibi bazı hastalıklarla da ilişkilidir. Normal koşullarda birçok yararlı ve zararlı mikroorganizma barındıran bağırsak mukus tabakası, mikroplastikler gibi eksojen toksinlerin varlığında bağırsaktaki mikrobiyal ekoloji tahrip olarak bağırsak dengesizliği, metabolik aktivite, iltihaplanma gibi çeşitli bağırsak fonksiyonlarının dengesizliğine yol açabilmektedir [70, 71, 72].

Vücut aşırı oksidatif stresi düzenleyemediğinde antioksidan enzimlerin işlevi mikroplastikler tarafından inhibe edilmekte bu da karaciğer hasarına ve metabolik bozukluğa yol açabilmektedir [73]. Mikroplastiklerin glikoz ve lipit metabolizması başta olmak üzere karaciğerin birçok önemli fonksiyonu üzerinde olumsuz etkileri ve insanlarda neden olduğu karaciğer toksisitesi hakkında daha fazla çalışmaların yapılması gerektiği belirtilmiştir [57].

2020 yılında yapılan bir çalışmada araştırmacılar polistiren mikroplastik (PS-MP'ler) alımının sperm hücrelerinde azalmaya ve spermden şekil bozukluğuna neden olduğunu bildirmiştir [74]. Yakın zamanda yapılan bir başka çalışmada PS-MP'lere maruz kalan farelerin rahim ve yumurtalıklarında birikebileceği belirtilmiştir [75]. Üstelik üreme ve doğurganlık açısından dişi fareler MP'lere karşı erkek farelere göre daha savunmasızdır ve PS-MP'lerin birikimi yumurtalıklarda testislere göre daha yüksektir [76].

Sonuç olarak çalışmalar mikroplastiklerin sinir ve sindirim sistemini etkileyebileceğini ve aynı zamanda bağırsak florası üzerinde etkiye sahip olabileceğini göstermiştir. Ancak mikroplastiklerin insanların bağışıklık ve üreme sistemi üzerindeki etkileri ve kanser riski ile ilgili daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

#### IV. SÜRDÜRÜLEBİLİR BALIKÇILIK VE MİKROPLASTİKLER

Balıkçılık endüstrisi, okyanuslardaki plastik atıkların önemli bir kaynağı olup atılan balık ağlarıyla da ciddi bir şekilde ilişkilidir. Bu atık yalnızca deniz ekosistemine zarar vermekle kalmamakta aynı zamanda bu ağların bozulmasından kaynaklanan mikroplastiklerin deniz hayvanları tarafından yutulması ve insanların besin zincirine girebilmesi nedeniyle insan sağlığına da tehdit oluşturmaktadır. Bu sorunu çözmek için sürdürülebilir balıkçılık yöntemleri ve atık yönetimi uygulamaları araştırılmaktadır. Deniz koruma alanlarının oluşturulması gibi deniz koruma çabaları, aşırı avlanma ve plastik kirliliğinin önlenme çalışmaları deniz ekosistemleri üzerinde hayati öneme sahiptir. Sürdürülebilir balıkçılık yöntemlerinin etkili atık yönetimi ve koruma stratejileriyle entegre edilmesi, mikroplastiklerin ve plastik atıkların deniz ortamı ve insan sağlığı üzerindeki etkisinin azaltılması açısından önemlidir [77, 78, 79].

Sürdürülebilir balıkçılık yöntemleri, balıkçılığın çevre üzerindeki etkisini en aza indirmeyi ve balık popülasyonlarının uzun vadede yaşayabilirliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Sürdürülebilir balıkçılık yöntemlerinin bazı örnekleri şunlardır:

1) Seçici balıkçılık: Bu yöntem, belirli balık türlerinin hedeflenmesini ve hedef olmayan türlerin yakalanmasından kaçınmayı içermektedir. Kancalar ve oltalar, tuzaklar ve saksılar gibi seçici avlanma araçları hedef dışı avın azaltılmasına yardımcı olabilmektedir.

2) Balıkçılık kotaları: Hükümetler aşırı avlanmayı önlemek için belirli bir alan veya zaman diliminde yakalanabilecek balık miktarına sınırlamalar getirebilmektedir.

3) Deniz koruma alanları: Balık popülasyonlarının toparlanıp gelişmesini sağlamak için balıkçılığın kısıtlandığı veya yasaklandığı belirlenmiş alanlardır.

4) Su ürünleri yetiştiriciliği: Yabani balık popülasyonları üzerindeki baskıyı azaltabilecek, kontrollü ortamlarda balık yetiştirme uygulamasıdır [80, 81, 82].

Norveç'te balıkçılık faaliyetlerini yürütebilmek ve bu çerçevede düzenlemeler yapabilmek için temel gereklilik balıkçılık lisansıdır. Bu lisans kapsamında, turizm ve diğer balıkçılık faaliyetleri için kiralanmış veya satın alınmış gemi sayıları kontrol edilmektedir. Ayrıca bölgedeki balıkçılığın sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla devlet tarafından kota sistemi uygulanmaktadır. Her gemi için belirlenen bir avlanma kotası bulunmaktadır ve bu kota aşıldığında geminin ticari balıkçılık faaliyetlerini sürdürmesi yasaktır [83, 84].

İzlanda ekonomisinin önemli bir parçası olan balıkçılık faaliyetleri, ülkenin deniz kaynaklarını sürdürülebilir bir şekilde yönetmek amacıyla çeşitli yasal düzenlemelerle kontrol altına alınmıştır. Bu düzenlemeler arasında 1990 yılında yürürlüğe giren Balıkçılık Yönetimi Yasası'nın özellikle önemi büyüktür. Bu yasa balık popülasyonlarının korunmasını ve denizlerdeki verimliliğin artırılmasını hedeflerken balıkçıları da ekonomik olarak desteklemeyi amaçlamaktadır. İzlanda'daki tüm balıkçılık faaliyetleri balıkçılık ve tarım bakanlığının gözetimi altında gerçekleştirilmektedir. Devredilebilir Kotalar Sistemi (ITQ) gibi bilimsel temellere dayanan sistemlerle denetlenmektedir. Bu sistemler, balıkçı gemilerine belirli bir avlanma kotası tahsis ederek aşırı avlanmayı engeller ve balıkçılığı sürdürülebilir kılar. Ayrıca balıkçıların kota tahsisine uygun şekilde ücretlendirilmesi ve belirli dönemlerde balıkçılık faaliyetlerinin geçici olarak durdurulması gibi önlemler de alınmaktadır. Bu sayede İzlanda'nın balıkçılık sektörü hem ekonomik olarak büyümekte hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamaktadır [84].

Sürdürülebilir balıkçılığın mikroplastik kirliliğin azaltılmasına katkıda bulunduğu yollardan bazıları şunlardır:

1) Plastik atıkların azaltılması: Sürdürülebilir balıkçılık, geri dönüştürülebilir balıkçılık malzemelerinin kullanılması ve tek kullanımlık plastik kullanımının en aza indirilmesi gibi sürdürülebilir balıkçılık uygulamalarını teşvik ederek balıkçılık endüstrisi tarafından üretilen plastik atık miktarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır [68]. Bu da atık ürünlerin okyanuslara karışarak deniz yaşamına zarar verebilecek mikroplastiklere dönüşmesini önlemeye yardımcı olmaktadır [79].

2) Balık ağlarının geri dönüşümü: Bazı sürdürülebilir balıkçılık girişimleri atık balık ağlarının beton gibi malzemelere dönüştürülmesine odaklanmaktadır. Örneğin atık balık ağlarından elde edilen liflerin çimento harcı numunelerinde takviye olarak kullanımının araştırıldığı bir çalışmada deniz atıklarının en aza indirilmesi ve atılan ağların yeniden değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu yaklaşım, ağların mikroplastik olarak okyanuslara karışmasının önlenmesine yardımcı olmaktadır [79].

3) Alternatif malzemelerin kullanımı: Sürdürülebilir balıkçılık yöntemleri, olta takımlarındaki sentetik malzemelerin yerine doğal lifler gibi alternatif malzemelerin kullanılmasını da içerebilmektedir. Bu durum balıkçılık endüstrisi tarafından üretilen plastik atık miktarının azaltılmasına ve deniz ortamları üzerindeki etkinin en aza indirilmesine yardımcı olabilmektedir [79].

Sürdürülebilir balıkçılık uygulamaları plastik atıkların azaltılması, balık ağlarının geri dönüştürülmesi ve olta takımlarında alternatif malzemelerin kullanılması yoluyla mikroplastik kirliliğin azaltılmasında önemli bir rol oynayabilmektedir. Bu uygulamalar hem deniz yaşamına hem de insan sağlığına fayda sağlayacak şekilde daha temiz ve sağlıklı bir okyanus ortamına katkıda bulunabilmektedir.

## V. TÜKETİCİ BİLİNCİ VE ÇÖZÜMLER

Tüketiciler günlük yaşamlarında çeşitli uygulamaları benimseyerek mikroplastiklerle kontrollü bir şekilde baş edebilirler. Bu uygulamalardan bazılarına aşağıda yer verilmiştir [85].

1) Mikroplastik içermeyen ürünlerin kullanımı: Kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde mikroplastik içeren ürünler yerine şeker, tuz veya meyve tohumları gibi doğal peeling maddeleri içeren ürünler tercih edilmelidir.

2) Tek kullanımlık plastik ürünlerin azaltılması: Su şişeleri, pipetler ve tek kullanımlık çatal bıçak takımı gibi tek kullanımlık plastik ürünlerin kullanımı azaltılmalıdır.

3) Atıkların uygun şekilde geri dönüştürülmesi: Plastik şişeler, torbalar ve diğer atıkları okyanuslara karışma olasılıklarını en aza indirebilmek için belirlenmiş geri dönüşüm kutularına atılmalıdır.

4) Çevreye duyarlı şirketlerin desteklenmesi: Tedarik zincirlerinde veya ürünlerinde mikroplastikleri azaltmak için aktif olarak çalışan şirketlerin ürünleri tercih edilmelidir.

5) Kendinizin ve çevrenizin eğitilmesi: En başta kendiniz olmak üzere arkadaş, aile ve meslektaşlarınızla bilgi paylaşılarak mikroplastik kirliliği ve bunun deniz yaşamı ve insan sağlığı üzerindeki etkisi hakkında farkındalığı artırabilirsiniz. Ayrıca okul öncesi çağıdan itibaren tüm eğitim öğretim kademelerindeki öğrencilere çevre eğitimi verilerek mikroplastik azaltıcı uygulamaların benimsenmesi teşvik edilmelidir.

Tüketiciler bu uygulamaları benimseyerek ve mikroplastik kirliliğini azaltan politikaları destekleyerek hem deniz yaşamı hem de insanlar için daha temiz ve sağlıklı bir çevreye katkıda bulunabilmektedir [85].

İnsanların deniz ürünlerini satın alırken ve tüketirken daha bilinçli seçimler yapmaları gerekmektedir. Sürdürülebilir balıkçılık için standartlar belirlemeyi amaçlayan bir kuruluş olan Deniz Koruma Konseyi (Marine Stewardship Council (MSC)) veya diğer saygın sertifikasyon kuruluşları tarafından onaylanan işletmelerdeki deniz ürünlerinin tercih edilmesi [82], sürdürülebilir deniz ürünleri seçenekleri ve farklı balıkçılık yöntemlerinin çevresel etkileri konusunda kendinizin ve çevrenizin eğitilmesi [81], denizel biyoçeşitliliği korumak için aşırı avlanan veya

nesli tükenmekte olan türlerin satın alımından kaçınılması [78] ve eğer hobi olarak balıkçılık yapıyorsa deniz yaşamı üzerindeki etkiyi en aza indirmek için kullanılmış olta gibi balıkçılık atıklarının çevreye duyarlı bir şekilde imha edilmesi [81] gibi tüketici tercihleri deniz ekosisteminin sürdürülebilirliğine katkıda bulunabilmektedir.

Tüketicilerin deniz ürünleri satın alırken arayabilecekleri çeşitli sürdürülebilir deniz ürünleri sertifikasyon programları bulunmaktadır. Deniz Koruma Konseyi (MSC) (Marine Stewardship Council), Su Ürünleri Yönetim Konseyi (ASC) (Aquaculture Stewardship Council), Deniz Dostu (FOS) (Friend of the Sea) ve İyi Su Ürünleri Uygulamaları (BAP) (Best Aquaculture Practices) bu programlara örnek verilebilir [86, 82].

## VI. SONUÇ

Mikroplastikler deniz ortamında yaygın olarak bulunan ve deniz ürünlerine bulaşabilen küçük plastik parçacıklardır. Balık ve diğer deniz ürünleri mikroplastığı sindirim sistemlerinde, solungaçlarında ve dokularında biriktirebilirler. Bu durum hem deniz ekosistemi hem de insan sağlığı için endişe vericidir. Balıklarda biriken mikroplastikler ve insanların balık tüketimi arasındaki ilişki insanların da bu kirlilik ile etkileşimde olduğunu göstermektedir. Geri dönüşümü ve plastiksiz alternatifleri tercih ederek plastik kullanımının azaltılması, daha sürdürülebilir balıkçılık yöntemlerinin kullanılması, daha etkili atık yönetim politikaları oluşturulması, endüstriyel ve ticari sektörlerin mikroplastik kullanımını azaltması ve tüketicilerin mikroplastik konusunda bilinçlendirilmesi gibi hususlar mikroplastik sorununun çözümü için atılması gereken adımlardır.

Sonuç olarak mikroplastik kirliliğiyle mücadelede tüm paydaşların iş birliği yapması gerekmektedir. Sürdürülebilirlik, bilinçlenme ve daha çevreci alışkanlıkların benimsenmesi denizlerimizi ve balık tüketimini daha güvenli hale getirerek gelecek nesillere daha temiz bir çevre bırakmamızı sağlayabilir. Bu sorunun çözümü için atılacak her adım denizlerimizin ve insan sağlığının korunmasına büyük katkı sağlayabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Shim, W. J., & Thomposon, R. C. (2015). Microplastics in the ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69, 265-268.
- [2] Alomar, C., Estarellas, F., & Deudero, S. (2016). Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research*, 115, 1-10.
- [3] Alberghini, L., Truant, A., Santonicola, S., Colavita, G., & Giaccone, V. (2022). Microplastics in fish and fishery products and risks for human health: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 789.
- [4] Chen, J. Y. S., Lee, Y. C., & Walther, B. A. (2020). Microplastic contamination of three commonly consumed seafood species from Taiwan: A pilot study. *Sustainability*, 12(22), 9543.
- [5] Santonicola, S., Volgare, M., Cocca, M., Dorigato, G., Giaccone, V., & Colavita, G. (2023). Impact of Fibrous Microplastic Pollution on Commercial Seafood and Consumer Health: A Review. *Animals*, 13(11), 1736.
- [6] Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597.
- [7] Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science & Technology*, 47(12), 6646-6655.
- [8] Ferreira, P., Fonte, E., Soares, M. E., Carvalho, F., & Guilhermino, L. (2016). Effects of multi-stressors on juveniles of the marine fish *Pomatoschistus microps*: gold nanoparticles, microplastics and temperature. *Aquatic Toxicology*, 170, 89-103.
- [9] Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165-176.
- [10] Biswas, T., & Pal, S. C. (2024). Emerging threats of microplastics on marine environment: A critical review of toxicity measurement, policy practice gap and future research direction. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139941.
- [11] Gall, S. C., & Thompson, R. C. (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin*, 92(1-2), 170-179.
- [12] Kazour, M., Terki, S., Rabhi, K., Jemaa, S., Khalaf, G., & Amara, R. (2019). Sources of microplastics pollution in the marine environment: Importance of wastewater treatment plant and coastal landfill. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 608-618.
- [13] Koelmans, A. A., Gouin, T., Thompson, R., Wallace, N., & Arthur, C. (2014). Plastics in the marine environment. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33(1), 5-10.
- [14] Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597.

- [15] Kim, J. A., Kim, M. J., Song, J. A., & Choi, C. Y. (2023). Effects of microfiber exposure on medaka (*Oryzias latipes*): Oxidative stress, cell damage, and mortality. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 265, 109535.
- [16] Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175-9179.
- [17] Chiba, S., Saito, H., Fletcher, R., Yogi, T., Kayo, M., Miyagi, S., & Fujikura, K. (2018). Human footprint in the abyss: 30 year records of deep-sea plastic debris. *Marine Policy*, 96, 204-212.
- [18] Ivar do Sul, J. A., Costa, M. F., & Fillmann, G. (2014). Microplastics in the pelagic environment around oceanic islands of the Western Tropical Atlantic Ocean. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225, 1-13.
- [19] Everaert, G., Van Cauwenberghe, L., De Rijcke, M., Koelmans, A. A., Mees, J., Vandegehuchte, M., & Janssen, C. R. (2018). Risk assessment of microplastics in the ocean: Modelling approach and first conclusions. *Environmental Pollution*, 242, 1930-1938.
- [20] Gedik, K., & Eryaşar, A.R. (2020). Microplastic pollution profile of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected along the Turkish coasts. *Chemosphere*, 260, 127570.
- [21] Erdoğan, Ş. (2020). Microplastic pollution in freshwater ecosystems: A case study from Turkey. *Su Ürünleri Dergisi*, 37(3), 213-221.
- [22] Çomaklı, E., Bingöl, M. S., & Bilgili, A. (2020). Assessment of microplastic pollution in a crater lake at high altitude: A case study in an urban crater Lake in Erzurum, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 1-6.
- [23] Karaoğlu, K., & Gül, S. (2020). Characterization of microplastic pollution in tadpoles living in small water-bodies from Rize, the northeast of Turkey. *Chemosphere*, 255, 126915.
- [24] Tavşanoğlu, Ü.N., Başaran Kankılıç, G., Akca, G., Çırak, T., & Erdoğan, Ş. (2020). Microplastics in a dam lake in Turkey: type, mesh size effect, and bacterial biofilm communities. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 45688-45698.
- [25] Atıcı, A. A., Sepil, A., Sen, F., & Karagoz, M. H. (2022). First evaluation of microplastic pollution in the surface waters of the Van Bay from Van Lake, Turkey. *Chemistry and Ecology*, 38(1), 1-16.
- [26] Almas, F. F., Bezirci, G., Çağan, A. S., Gökdağ, K., Çırak, T., Kankılıç, G. B., & Tavşanoğlu, Ü. N. (2022). Tracking the microplastic accumulation from past to present in the freshwater ecosystems: A case study in Susurluk Basin, Turkey. *Chemosphere*, 303, 135007.
- [27] Gündoğdu, S., Kutlu, B., Özcan, T., Büyükdeveci, F., & Blettler, M. C. (2023). Microplastic pollution in two remote rivers of Türkiye. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(6), 791.
- [28] Çevik, C., Kıdeys, A. E., Tavşanoğlu, Ü. N., Kankılıç, G. B., & Gündoğdu, S. (2021). A review of plastic pollution in aquatic ecosystems of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 26230-26249.
- [29] Mutlu, E., Özvarol, Y., Şahin, A., Duman, G. S., & Karaca, D. (2020). Macro litter distribution of the Turkish Mediterranean coasts dominated by pleasure crafts. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110833.
- [30] Baysal, A., Saygin, H., Ustabasi, & G. S. (2020). Microplastic occurrences in sediments collected from Marmara Sea-Istanbul, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 105, 522-529.
- [31] Tunçer, S., Artüz, O. B., Demirkol, M., & Artüz, M. L. (2018). First report of occurrence, distribution, and composition of microplastics in surface waters of the Sea of Marmara, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 283-289.
- [32] Lee, H., Shim, W. J., & Kwon, J. H. (2014). Sorption capacity of plastic debris for hydrophobic organic chemicals. *Science of the Total Environment*, 470, 1545-1552.
- [33] Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental Science & Technology*, 50(11), 5800-5808.
- [34] Markic, A., Gaertner, J. C., Gaertner-Mazouni, N., & Koelmans, A. A. (2020). Plastic ingestion by marine fish in the wild. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(7), 657-697.
- [35] Pereira, J. M., Rodríguez, Y., Blasco-Monleon, S., Porter, A., Lewis, C., & Pham, C. K. (2020). Microplastic in the stomachs of open-ocean and deep-sea fishes of the North-East Atlantic. *Environmental Pollution*, 265, 115060.
- [36] Lusher, A. L., Hernandez-Milian, G., O'Brien, J., Berrow, S., O'Connor, I., & Officer, R. (2015). Microplastic and macroplastic ingestion by a deep diving, oceanic cetacean: the True's beaked whale *Mesoplodon mirus*. *Environmental Pollution*, 199, 185-191.
- [37] Welden, N. A., & Cowie, P. R. (2016). Long-term microplastic retention causes reduced body condition in the langoustine, *Nephrops norvegicus*. *Environmental Pollution*, 218, 895-900.
- [38] Arossa, S., Martin, C., Rossbach, S., & Duarte, C. M. (2019). Microplastic removal by Red Sea giant clam (*Tridacna maxima*). *Environmental Pollution*, 252, 1257-1266.
- [39] Baalkhuyur, F. M., Qurban, M. A., Panickan, P., & Duarte, C. M. (2020). Microplastics in fishes of commercial and ecological importance from the Western Arabian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 152, 110920.

- [40] Li, J., Yang, D., Li, L., Jabeen, K., & Shi, H. (2015). Microplastics in commercial bivalves from China. *Environmental Pollution*, 207, 190-195.
- [41] Karami, A., Golieskardi, A., Ho, Y. B., Larat, V., & Salamatinia, B. (2017). Microplastics in eviscerated flesh and excised organs of dried fish. *Scientific Reports*, 7(1), 5473.
- [42] Garnier, Y., Jacob, H., Guerra, A. S., Bertucci, F., & Lecchini, D. (2019). Evaluation of microplastic ingestion by tropical fish from Moorea Island, French Polynesia. *Marine Pollution Bulletin*, 140, 165-170.
- [43] Herrera, A., Štindlová, A., Martínez, I., Rapp, J., Romero-Kutzner, V., Samper, M. D., & Gómez, M. (2019). Microplastic ingestion by Atlantic chub mackerel (*Scomber colias*) in the Canary Islands coast. *Marine Pollution Bulletin*, 139, 127-135.
- [44] Renzi, M., Specchiulli, A., Blašković, A., Manzo, C., Mancinelli, G., & Cilenti, L. (2019). Marine litter in stomach content of small pelagic fishes from the Adriatic Sea: sardines (*Sardina pilchardus*) and anchovies (*Engraulis encrasicolus*). *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 2771-2781.
- [45] Abbasi, S., Soltani, N., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., & Hassanaghahi, M. (2018). Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. *Chemosphere*, 205, 80-87.
- [46] Atıcı, A. A., Sepil, A., Sen, F. (2021). High levels of microplastic ingestion by commercial, planktivorous *Alburnus tarichi* in Lake Van, Turkey. *Food Additives & Contaminants*, 38(10), 1767-1777.
- [47] Atamanalp, M., Kokturk, M., Gündüz, F., Parlak, V., Ucar, A., Alwazeer, D., & Alak, G. (2023). The use of zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) as a sentinel species for the microplastic pollution of freshwater: the case of Beyhan Dam Lake, Turkey. *Sustainability*, 15(2), 1422.
- [48] Güven, O., Gökdağ, K., Jovanović, B., & Kıdeys, A. E. (2017). Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish. *Environmental Pollution*, 223, 286-294.
- [49] Atamanalp, M., Köktürk, M., Parlak, V., Ucar, A., Arslan, G., & Alak, G. (2022). A new record for the presence of microplastics in dominant fish species of the Karasu River Erzurum, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 7866-7876.
- [50] Atıcı, A. A. (2022). The first evidence of microplastic uptake in natural freshwater mussel, *Unio stevenianus* from Karasu River, Turkey. *Biomarkers*, 27(2), 118-126.
- [51] Turhan, D. Ö. (2021). Evaluation of microplastics in the surface water, sediment and fish of Sürgü Dam Reservoir (Malatya) in Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 22, 1-12.
- [52] Aytan, U., Esensoy, F. B., Şentürk, Y., Arifoğlu, E., Karaoğlu, K., Ceylan, Y., & Valente, A. (2022). Plastic occurrence in commercial fish species of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 22, 13.
- [53] Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, 702, 134455.
- [54] Çıtar Dazıroğlu, M. E., & Bilici, S. (2023). The hidden threat to food safety and human health: microplastics. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 21913-21935.
- [55] Afrin, S., Rahman, M. M., Hossain, M. N., Uddin, M. K., & Malafaia, G. (2022). Are there plastic particles in my sugar? A pioneering study on the characterization of microplastics in commercial sugars and risk assessment. *Science of the Total Environment*, 837, 155849.
- [56] Al Mamun, A., Prasetya, T. A. E., Dewi, I. R., & Ahmad, M. (2023). Microplastics in human food chains: Food becoming a threat to health safety. *Science of the Total Environment*, 858, 159834.
- [57] Sharma, S., & Chatterjee, S. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 21530-21547.
- [58] Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V., Lam, R., Miller, J. T., & Teh, S. J. (2015). Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5(1), 1-10.
- [59] Bråte, I. L. N., Eidsvoll, D. P., Steindal, C. C., & Thomas, K. V. (2016). Plastic ingestion by Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the Norwegian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1-2), 105-110.
- [60] Walkinshaw, C., Lindeque, P. K., Thompson, R., Tolhurst, T., & Cole, M. (2020). Microplastics and seafood: lower trophic organisms at highest risk of contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, 110066.
- [61] De Witte, B., Devriese, L., Bekaert, K., Hoffman, S., Vandermeersch, G., Cooreman, K., & Robbens, J. (2014). Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 146-155.
- [62] Van Cauwenbergh, L., Claessens, M., Vandegehuchte, M. B., & Janssen, C. R. (2015). Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environmental Pollution*, 199, 10-17.
- [63] Qu, X., Su, L., Li, H., Liang, M., & Shi, H. (2018). Assessing the relationship between the abundance and properties of microplastics in water and in mussels. *Science of the Total Environment*, 621, 679-686.

- [64] Devriese, L. I., Van der Meulen, M. D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frère, L., & Vethaak, A. D. (2015). Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Marine Pollution Bulletin*, 98(1-2), 179-187.
- [65] Kadac-Czapska, K., Knez, E., & Grembecka, M. (2022). Food and human safety: The impact of microplastics. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(11), 3502-3521.
- [66] Alak, G., Köktürk, M., Ucar, A., Parlak, V., Kocaman, E. M., & Atamanalp, M. (2022). Thermal processing implications on microplastics in rainbow trout fillet. *Journal of Food Science*, 87(12), 5455-5466.
- [67] Rodríguez-Pérez, C., de Rodríguez, M. S., & Pula, H. J. (2023). Occurrence of nano/microplastics from wild and farmed edible species. Potential effects of exposure on human health. *Advances in Food and Nutrition Research*, 103, 273-311.
- [68] Yee, M. S. L., Hii, L. W., Looi, C. K., Lim, W. M., Wong, S. F., Kok, Y. Y., & Leong, C.O. (2021). Impact of microplastics and nanoplastics on human health. *Nanomaterials*, 11(2), 496.
- [69] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). (2016). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *Efsa Journal*, 14(6), 4501.
- [70] You, C., Chen, B., Wang, M., Wang, S., Zhang, M., Sun, Z., & Li, Y. (2019). Effects of dietary lipid sources on the intestinal microbiome and health of golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Fish & Shellfish Immunology*, 89, 187-197.
- [71] Yang, G., Yuan, X., Jin, C., Wang, D., Wang, Y., Miao, W., & Jin, Y. (2020). Imidacloprid disturbed the gut barrier function and interfered with bile acids metabolism in mice. *Environmental Pollution*, 266, 115290.
- [72] Yin, K., Wang, Y., Zhao, H., Wang, D., Guo, M., Mu, M., & Xing, M. (2021). A comparative review of microplastics and nanoplastics: Toxicity hazards on digestive, reproductive and nervous system. *Science of the Total Environment*, 774, 145758.
- [73] Liu, J., Dong, C., Zhai, Z., Tang, L., & Wang, L. (2021). Glyphosate-induced lipid metabolism disorder contributes to hepatotoxicity in juvenile common carp. *Environmental Pollution*, 269, 116186.
- [74] Xie, X., Deng, T., Duan, J., Xie, J., Yuan, J., & Chen, M. (2020). Exposure to polystyrene microplastics causes reproductive toxicity through oxidative stress and activation of the p38 MAPK signaling pathway. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190, 110133.
- [75] Liu, Z., Zhuan, Q., Zhang, L., Meng, L., Fu, X., & Hou, Y. (2022). Polystyrene microplastics induced female reproductive toxicity in mice. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127629.
- [76] Wei, Z., Wang, Y., Wang, S., Xie, J., Han, Q., & Chen, M. (2022). Comparing the effects of polystyrene microplastics exposure on reproduction and fertility in male and female mice. *Toxicology*, 465, 153059.
- [77] Kumartasli, S., & Avinc, O. (2020). Recycling of marine litter and ocean plastics: a vital sustainable solution for increasing ecology and health problem. *Sustainability in the Textile and Apparel Industries*, 117-137.
- [78] Church, G., Benbow, S., & Duffy, H. (2023). Putting communities at the heart of marine conservation. *Oryx*, 57(2), 137-138.
- [79] Suárez Lejardi, E. (2018). *Recycling fishing nets into concrete*. Master Thesis, Danmarks Tekniske Universitet, Kongens Lyngby, Danmarks.
- [80] Verma, R., Sharma, P., & Upadhyay, L. (2022) A survey on the traditional and indigenous fishing methods in the Kali River, Uttarakhand, India. *Flora and Fauna*, 28(2), 362-368.
- [81] Shchetinskiy, V., & Petrov, B. (2020). Exploration of Northern Commercial Fishing Area Resources and Sustainable Use Challenges and Ways to Resolve them. *KnE Life Sciences*, 763-770.
- [82] Vidman, R. (2018). *Sustainable fishing - How and why to change the industry*. Master Thesis, Lund University School of Economics and Management, Lund, Sweden.
- [83] Monkness, E., Gjørseter, J., Mikkelsen, E., & Lagaillarde, G. (2011). Effects of Fishing Tourism in a Coastal Municipality: a Case Study from Risør. *Ecology and Society*, 16(3), 11.
- [84] Arıcı, E. (2022). *İskandinav ülkelerinde ekoturizm faaliyetleri*. Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- [85] Saini, A., & Sharma, J. G. (2022). Emerging microplastic contamination in ecosystem: An urge for environmental sustainability. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 10(5), 66-75.
- [86] Arton, A., Leiman, A., Petrokofsky, G., Toonen, H., & Longo, C. S. (2020). What do we know about the impacts of the Marine Stewardship Council seafood ecolabelling program? A systematic map. *Environmental Evidence*, 9, 1-20.