SU ÜRÜNLERİ

Alanında Uluslararası Derleme, Araştırma ve Çalışmalar



EDİTÖR DOÇ. DR. BENGÜNUR ÇORAPCI

SERÜVEN YAYINEVİ

Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • C. Cansın Selin Temana

Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Serüven Yayınevi

Birinci Basım / First Edition • © Aralık 2025

ISBN • 978-625-8559-82-8

© copyright
Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz. The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

Serüven Yayınevi / Serüven Publishing
Türkiye Adres / Turkey Address: Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak
Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA
Telefon / Phone: 05437675765
web: www.seruvenyayinevi.com
e-mail: seruvenyayinevi@gmail.com

Baskı & Cilt / Printing & Volume
Sertifika / Certificate No: 47083

İLGİLİ MAKAMA

"Serüven Yayınevi", Üniversitelerarası Kurul Başkanlığı (ÜAK)'nın Ekim 2023 Dönemi **Doçentlik Başvuru Şartları**'nda belirtilmiş tanıma göre "Tanınmış Uluslararası Yayınevi" statüsündedir.

ÜAK söz konusu tanımı; "Uluslararası Yayınevi: En az dört yıl uluslararası düzeyde düzenli faaliyet yürüten, yayımladığı kitaplar Yükseköğretim Kurulunca tanınan sıralama kuruluşlarınca belirlenen dünyada ilk 500'e giren üniversite kütüphanelerinde kataloglanan ve aynı alanda farklı yazarlara ait en az 20 kitap yayımlamış olan yayınevi" ifadesine yer verilmektedir. (http://www.uak.gov.tr/?q=node/85#2018N).

Aynı zamanda akademisyen yazarlarımızca yayınevimize sıklıkla başvurulduğu üzere, **"Akademik Teşvik Ödeneği"** yönetmeliğinde belirtilen tanıma göre beş (5) yıl şartını sağlıyor olup, kurulduğu 2001 yılından itibaren uluslararası düzeyde, düzenli basım ve 20' den fazla ülkede dağıtım faaliyetlerini yürütmektedir.

17 Ocak 2020 tarihinde güncellenmiş **Akademik Teşvik Yönetmeliği**'ndeki tanıma göre de tüm temel alanlarda "Tanınmış Uluslararası Yayınevi" statüsündedir. "Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik" (17 Ocak 2020, Resmî Gazete Sayı: 31011, Karar Sayısı: 2043) yayımlanmıştır. Adı geçen Yönetmelikte 3. maddenin 1. fıkrasının (l) bendine "düzenli faaliyet yürüten", ibaresinden sonra gelmek üzere "Türkçe dışındaki dillerde" ibaresi eklenmiştir. Yayınevimizin "TÜRKÇE DIŞINDAKİ DİLLERDE" tüm temel alanlarda en az 20 (YİRMİ) adet yayını bulunmaktadır.

1300'ün üzerinde kitap yayımlayan firmamız, Türkçe ve diğer dillerde, yerli ve yabancı yazarlar tarafından hazırlanan eserleri okuyucuyla buluşturmuştur.

Ek listelerde yayınevimiz tarafından T.C. Üniversitelerarası Kurul Başkanlığınca belirlenmiş **doçentlik temel alanlarına** ve **Akademik Teşvik Yönetmeliğine** göre yayımlanmış bazı kitap listelerimiz ve yayınevimizce yayımlanan ve ülkemiz dışında bilinen / tanınmış çeşitli üniversite kütüphanelerinin kataloglarında yer alan kitaplarımız sıralanmıştır.

SERÜVEN YAYINEVİ
Yaşar Hız
Fevzi Çakmak / Sok. No:2/A
Tel:0312 384 60 40 Kızılay/ANKARA
Mikalpaşa V. D. 491 295 61026

SU ÜRÜNLERİ ALANINDA ULUSLARARASI DERLEME, ARAŞTIRMA VE ÇALIŞMALAR

- ARALIK 2025 -

EDİTÖR **DOÇ.DR. BENGÜNUR ÇORAPCI**

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1

TÜRKİYE'DE KÜLTÜRÜ YAPILAN TATLISU BALIKLARININ PARAZİTER HASTALIKLARI

Ahmet ÖZEK—1

Bölüm 2

MİKROPLASTİKLERİN İZLENMESİ, DEĞERLENDİRİLMESİ VE MODELLENMESİNDE YAPAY ZEKÂ METOTLARI

Adem Yavuz SÖNMEZ, Yiğit TAŞTAN—27

Bölüm 3

ALG TEMELLİ KARBON GİDERİMİ: BİLİMSEL TEMELLER, ÖLÇÜM YAKLAŞIMLARI VE POLİTİKA BAĞLANTILARI

Betül GÜROY—41

Bölüm 4

SOUS-VİDE TEKNOLOJİSİ: SU ÜRÜNLERİ

Levent İZCİ—65

Bölüm 5

MİKRO VE NANOPLASTİK KİRLENMESİNİN DEKAPODLARA ETKİLERİ
EFFECTS OF MICRO AND NANOPLASTIC CONTAMINATION ON DECAPODS

Ayşe Gül HARLIOĞLU—79

Bölüm 6

BALIK YAKALAMA ALETLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Fahrettin YÜKSEL—99

Bölüm 7

İNFEKSİYOZ PANKREATİK NEKROZİS VİRÜSÜ (IPNV): ETİYOLOJİ, EPİZOOTİYOLOJİ, PATOGENEZ VE AKUAKÜLTÜRDE HASTALIK YÖNETİMİNE KAPSAMLI BİR BAKIŞ

Şeydanur KAN—123

Bölüm 8

YAPAY ZEKA VE SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KULLANIM ALANLARI

Hülya EMİNÇE SAYGI—141

Bölüm 9

SUCUL CANLILARDA MİKROPLASTİK MARUZİYETİNE BAĞLI FİZYOLOJİK YANITLAR

Elif PAÇAL—159

Bölüm 10

SU KALİTESİ VE EKOSİSTEM SAĞLIĞI

Gözde ŞAVRAN, Fahrettin KÜÇÜK—173

Bölüm 11

MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Ataman Altuğ ATICI—197

Bölüm 12

OTOLİT MİKROYAPISI

Celal ATEŞ, İsmail REİS—225

Bölüm 13

SU EKOSİSTEMLERİNDE MİKROPLASTİK - AĞIR METAL İLİŞKİSİ

Adem Yavuz SÖNMEZ, Yiğit TAŞTAN—241

Bölüm 14

OZON: SU ÜRÜNLERİNDE UYGULAMALAR

Levent İZCİ—259

Bölüm 15

JEOTERMAL SU KULLANARAK SPİRULİNA *(ARTHROSPIRA SPP.)* YETİŞTİRİCİLİĞİ: POTANSİYEL, YÖNTEMLER VE ENTEGRASYON MODELLERİ

Betül GÜROY, Derya GÜROY—273

Bölüm 16

BALIK HEMATOLOJİSİ VE BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ

Başar ALTINTERİM—303

Bölüm 17

TÜRKİYE'DE KÜLTÜRÜ YAPILAN DENİZ BALIKLARININ PARAZİTER HASTALIKLARI

Ahmet ÖZER—327

Bölüm 18

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ SÜREÇLERİNİN SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Sibel DOĞAN, Özden BARIM ÖZ—353

Bölüm 19

SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE KUANTUM NOKTA TABANLI YENİLİKLER

Özden BARIM ÖZ, Sibel DOĞAN—375

Bölüm 11

MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Ataman Altuğ ATICI[1]

1 Doç. Dr., Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü, Van, TÜRKİYE. ORCID ID: 0000-0001-8700-8969, atamanaltug@yyu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sentetik polimerler olarak üretilen plastikler doğada kendiliğinden bulunmamaktadır. Bunun dışında doğal polimerlerin modifiye edilmiş halini ve çeşitli katkı maddelerini içermektedir. Yaygın bir şekilde kullanılmasının nedenlderi arasında hafif ve esnek olmaları, ısı ve elektirk yalıtımı yönünden kullanışlı olmaları ve üretim maliyetlerinin düşük olması gibi çok yönlü kullanım özellikleri sıralanabilir (Bingel ve ark.,1987; Atici ve ark., 2020; Aydın ve ark., 2023; Plastic Europe, 2024; Atıcı, 2025a; Atıcı, 2025b). Dünya genelinde plastik üretimi 2018 yılında 360.7 milyon ton iken bu rakam 2024 yılı verilerine göre 430.9 milyon tona ulaşmıştır (Plastic Europe, 2024).

Her yıl artan plastik tüketimi, hem çok büyük miktarlarda plastik üretimi ile geri dönüştürülmüş ürünlere olan talebin yetersizliğini hem de plastiklerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki doğrudan etkisi nedeniyle artan sağlık risklerini ortaya çıkarmaktadır. Geyer ve ark. (2017) plastik atıkların 2015 yılına kadar yalnızca % 9'unun geri dönüştürüldüğünü, % 12'sinin yakıldığını ve üretilen atıkların çoğunun çöp atılan alanlara gönderildiğini veya çevreye karıştığını bildirmiştir. Plastiklerin yanlış kullanımı nedeniyle plastik atıkların yaygın olması ve yönetimsel sorunlar birçok alanda plastiklerin atık olarak birikmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda plastiklerin aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması ve özellikle su ortamlarına salınımının önemli ölçüde azaltılması gerekliliğine olan ilgi giderek artmaktadır (Atici ve ark., 2022; Oleksiuk ve ark., 2023).

İnsan kaynalı faaliyetler çevreyi öylesine etkilemiştir ki, araştırmacılar tarafından 2000'li yıllardan itibaren "Antropocen" adı verilen yeni, resmi olmayan bir jeolojik çağ tanımlanmıştır (Crutzen ve Stoermer, 2022).

Mikroplastikler konusunda ortaya çıkan endişelerin çoğu, mikroplastiklerin içerdiği kimyasal katkı maddelerinin mikroplastikten ayrılması ile ortaya çıkabilecek risklerden kaynaklanmaktadır (Bakir ve ark., 2014). Aslında plastikler, % 106'ya kadar kirleticiyi yoğunlaştırabilir (Mato ve ark., 2001). Mikroplastikler vücut yüzeyleriyle temas ettiğinde ve emildiğinde bu kirleticiler açığa çıkarak alttaki dokulara ulaşabilir (Browne ve ark., 2011). Üretilen plastiğin ortalama % 4'ü katkı maddelerinden oluşmaktadır (EFSA, 2016). Ancak katkı maddelerinin yüzdesi önemli ölçüde değişebilmekte, hatta bazı durumlarda toplam malzemenin yarısı kadar olabilmektedir (Lithner ve ark, 2011). Sucul ortamlardaki mikroplastikler, kimyasal katkı maddelerine ek olarak, poliklorlu bifeniller (PCB), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) ve DDT gibi organoklorlu pesti-

sitler de dahil olmak üzere kalıcı organik kirleticileri (POP) biriktirebilir (Mato ve ark., 2001; Rochman ve ark., 2015).

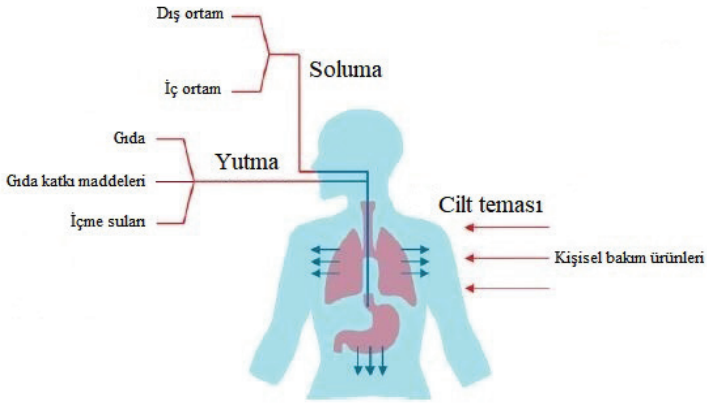
Plastik üretim sürecinde katkı maddesi olarak (örneğin boyalarda, alev geciktiricilerde, dolgu maddelerinde ve stabilizatörlerde) kullanılan veya sucul ortamda mikroplastikler tarafından yüksek konsantrasyonlarda tutulabilen Al, As, Ba, Br, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Pb, Sb, Sn, Ti ve Zn gibi ağır metaller besin zinciri yoluyla sucul canlılara ve insanlara (Barboza ve ark., 2018;Revel ve ark., 2018; Jinhui ve ark., 2019) aktarılabilmektedir. Ayrıca mikroplastiklerin farklı mikrobiyal topluluklar için substrat oluşturabildiği ve canlılar tararfından tüketildiğinde hastalıklar oluşturduğu da belgelenmiştir (Li ve ark., 2022).

Günlük hayatta en yaygın kullanılan plastik polimerler arasında polipropilen (PP), polietilen (PE), polikarbonat (PC), polietilen tereftalat (PET), polivinil klorür (PVC), polistiren (PS) ve naylon yer almaktadır (Aydın ve ark., 2023; Atıcı, 2025a).

Bu çalışmada, mikroplastik alanında yapılan araştırmalar değerlendirilerek insanların plastik parçacıklara maruz kalma yolları, insan vücudunda tespit edilen plastik parçacıkların dağılımları ve plastik parçacıkların insanlar üzerinde oluşturduğu sağlık etkileri ele alınmıştır.

2. MARUZ KALMA YOLLARI

Özellikle 10 μm'den küçük boyutta plastiklere maruz kalması insan sağlığı açısıdan endişe oluşturmakla beraber maruz kalma seviyesi yaş, cinsiyet, beslenme ve yaşam şekline göre değişiklik gösterebilmektedir (Ali ve ark., 2024; Özsoy ve ark., 2024). Yapılan çalışmalar, esas olarak maruz kalma yollarının yutma, solunum ve cilt teması (Şekil 1) ile gerçekleştiğini göstermektedir (Amato-Lourenço ve ark., 2020; Campanale ve ark., 2020; Li ve ark., 2023). Sun ve Wang, 2023).



Şekil 1. İnsanların mikroplastiklere maruz kalma yolları (Sun ve Wang, 2023'ten uyarlanmıştır).

2.1. Yutma Yoluyla Plastik Parçacıkların Alımı

İnsan vücuduna küçük boyutlu plastik parçacıkların girmesinin başlıca yollarından biri, plastikler ile kontamine olmuş olan gıdaların tüketilmesidir. Yapılan çalışmalarda başta su ürünlerinden balıklarda (Güven ve ark., 2017; Atici ve ark., 2021; Gedik ve ark., 2023; Atıcı, 2024), midyelerde (Atici, 2022; Gedik ve Eryaşar, 2020) ve karideslerde (Yücel ve Kılıç, 2025) olmak üzere sofra tuzu (Gündoğdu, 2018) gibi diğer gıdalarda ve hazır içme sularında (Mason ve ark., 2018) mikroplastikler tespit edilmiştir. Ayrıca insanların, kirlenmiş topraktan mikroplastikleri alan bitkileri tüketmesi ile günde tahmini 80 gram mikroplastik alabileceği rapor edilmiştir (Ebere ve ark., 2019).

2.1.1. Su Ürünleri Tüketimi

Su ürünleri tüketimi, insanların mikroplastik maruziyetinin önemli bir yolunu temsil etmekte olup, dünya çapında yaklaşık 3 milyar insanın hayvansal protein ihtiyacının yaklaşık %20'sini karşılamaktadır. Dünya genelinde su ürünleri tüketimi yılda 20 kg'ın üzerindedir (FAO, 2016). Küçük boyutları nedeniyle mikroplastikler çok çeşitli sucul canlıları tarafından doğrudan yutulabilir (Şekil 2) veya besin zinciri boyunca dolaylı yoldan alınabilir (Cole ve ark., 2013; Aytan ve ark., 2022).



Şekil 2. *Türk Somonu (Oncorhynchus mykiss)'nun sindirim sisteminde tespit edilen mikroplastikler (ölçek 300 ila 500 µm arasındadır) (Atıcı, 2024).*

Mikroplastikler omurgasızlar, kabuklular ve balıklar dahil olmak üzere insan tüketimine yönelik birçok türde bulunmaktadır (Güven ve ark., 2017; Gündoğdu ve ark., 2020; Atici ve ark., 2021; Çini Barutçu ve Polat, 2021; Yozukmaz, 2021; Atici, 2022; Gedik ve Eryaşar, 2020; Gedik ve ark., 2023; Atıcı, 2024; Atıcı, 2025a; Atıcı, 2025b; Yücel ve Kılıç, 2025).

2.1.2. Şişelenmiş Su Tüketimi

Birçok plastik şişe su markasında mikroplastikler tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin, plastik şişelerin kendisinden, şişeleme ve nakliye sürecinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İçme suyu arıtımı, mikroplastikler de dahil olmak üzere çeşitli partikülleri gidermede genel olarak etkili olsa da, sistemedeki belirli bileşenlerin plastikten yapıldığını dikkate almak önemlidir (Mintenig ve ark., 2017). Zamanla, bu plastik malzemelerin aşınması veya bozulması, potansiyel olarak içme suyuna mikroplastiklerin karışmasına neden olabilir (WHO, 2019).

Ayrıca, bazı hazır sularda kullanılan şişeler ve kapaklar da plastikten yapılmış olup, bu durum içme suyunda mikroplastik kontaminasyonunun potansiyel bir kaynağı oluşturmaktadır (Oßmann ve ark., 2018; WHO, 2019). Şişelenmiş suyun yanı sıra musluk suyu da dahil olmak üzere çeşitli su kaynakları, insanların mikroplastik alımına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. İnsanların her yıl yaklaşık olarak ortalama 39.000 ila 52.000 mikroplastik parçacık tükettiği tahmin edilmekte ve

musluk suyu toplam alımının yaklaşık 3.000 ila 4.000 adetini (4.34 MP/L) oluşturmaktadır (Chen ve ark., 2023).

Yapılan çalışmalara bakıldığında Mason ve ark. (2018), çeşitli ülkelerden satın alınan 259 adet şişelenmiş suların % 93'ünde en yaygın polimer özelliği PP olan mikroplastik tespit etmişlerdir. Ortlama MP miktarı 10.4 adet/L (>100 µm) olurken, çoğunlukla lif tipinde mikroplastik belirlenmiştir. Başka bir çalışma ise Almanya'da gerçekleştirilmiş olup, en yüksek mikroplastik miktarları sırasıyla depozitolu plastik şişelerde 118 MP/L, tek kullanımlık plastik şişelerde 14 MP/L ve içecek kutularında ise 11 MP/L plarak bildirilmiştir. Polimer tipi olarak depozitolu şişelerde PP ve polyester (PES) yaygın olarak bulunurken, diğer şişelerde PE belirlenmiştir. Bu çalışmalar dışında maden sularının da mikroplastik içerdiğine (7.4 MP/L gibi) yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Makhdoumi ve ark., 2021; Praveena ve ark., 2022).

Şişelenmiş sular dışında Van ilindeki içme sularında mikroplastik parçacıklarının araştırıldığı çalışmada, su örneklerinde PVC, PE, PP ve PS özellikte mikoplastikler tespit edilmiştir (Ayşin, 2024).

2.1.3. Mikroplastik İçerebilen Diğer Gıdalar

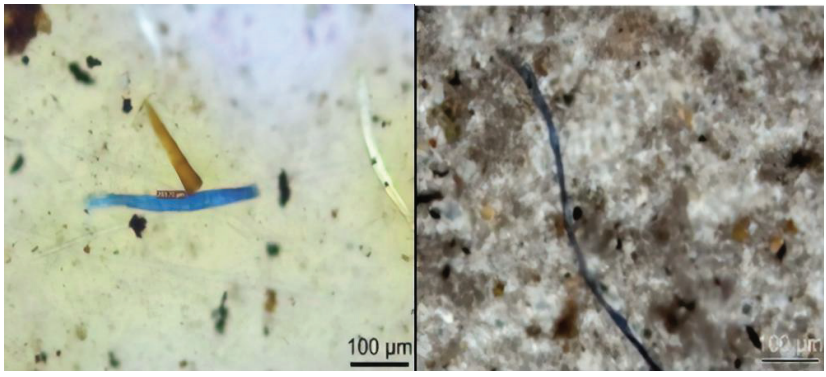
Bal, süt, tuz ve şeker gibi çeşitli gıdaların mikroplastikler ile kontemine olduğuna farklı çalışmalarda rastlanılmıştır. Bu ürünlere işleme veya paketleme sırasında mikroplastikler bulaşabilmektedir. Başka bir çalışmada ise, farklı Avrupa ülkelerinden alınan bal örnekleri analiz edilmiş ve hepsinde 40-660 MP/kg arasında değişen faklı renklerde lif tipinde mikroplastikler bulunmuştur. Iñiguez ve ark. (2017), İspanya'daki bazı ticari sofra tuzu örneklerinde 50-280 MP/kg arasında değişen ve en sık polimerler tipleri PET, PP ve PE olan mikroplastikler tespit etmişlerdir.

Bangladeş'te ticari olarak satılan şekerlerde ortalama MP miktarı 344±32 adet/kg olurken, çoğunluğu 300 µm'den küçük boyutta olmuştur (Afrin ve ark., 2022). Makhdoumi ve ark. (2023) ise şekerdeki MP miktarını ortalama 58±21 adet/kg olarak bildirmiştir.

Başka bir gıda ürünü olan sütle ilgili yapılan çalışmalarda ise Meksika'da satılan sütlerde ortalama MP miktarı Diaz-Basantes ve ark. (2020) tarafından 40 adet/L (10-100 MP/L arasında) ve Kutralam-Muniasamy ve ark. (2020) tarafından ise 23 adet/L (1-14 MP/L arasında) olarak bulunmuştur.

2.2. Solunum Yoluyla Plastik Parçacıkların Alımı

Mikroplastiklerin insan vücuduna giriş yollarından bir diğeri de soluma yoluyla havadan (Şekil 3) gerçekleşmektedir (Gasperi ve ark., 2018). Yapılan bir çalışma ev tozundan solunan mikroplastik lifleri miktarının aynı öğünde midye tüketiminden kaynaklanan mikroplastik liflerinin yutulmasından daha fazla olduğunu göstermiştir (Catarino ve ark., 2018). Mikroplastikler rüzgarla veya atmosferik birikimlerle taşınmasının yanı sıra tarımsal ve gübreli arazilerin erozyonundan, kurumuş çamurlardan, atık su arıtma tesislerinden, sentetik kumaşlardan, endüstriyel emisyonlardan, yol tozlarından ve deniz aerosollerinden de ortaya çıkabilmesi söz konusudur (Rezaei ve ark., 2019). Okyanuslardaki mikroplastik kirliliğinin yaklaşık % 7'sinin rüzgarlarla taşındığı tahmin edilmektedir (Prata, 2018).



Şekil 3. *São Paulo şehrindeki havada bulunan örnek plastik parçacıklar (Amato-Lourenço ve ark., 2020) (Kaydeden Luciana dos Santos Galvão, Kimyasal Analiz Laboratuvarı, Teknolojik Araştırma Enstitüsü (IPT), São Paulo, Brezilya).*

150 m^2'lik oldukça geniş bir alveolleşme yüzeyine ve 1 µm'den daha küçük çok ince bir doku bariyerine sahip olan insan akciğeri, özellikle nanopartiküllerin kan dolaşımına geçmesine yol açabilir (Lehner ve ark., 2019). Bu durumda havadaki partiküllerin boyutu, solunum sistemine girip giremeyeceklerini belirlemede önemli olup, uzunluğu 5 µm'den az ve çapı 3 µm'den küçük plastik parçacıkların solunma potansiyeli olduğu bildirilmiştir (Gasperi ve ark., 2018). Atmosferde mikroplastiklerin varlığını belgelemeye yönelik yapılan çalışmalarda Amerika'daki bireylerin solunum yoluyla yllık 74.000 ile 121.000 arasında partiküle maruz kaldığı rapor edilmiştir (Cox ve ark., 2019).

Amato-Lourenço ve ark. (2020) insan akciğerlerinde 5.5 µm'den küçük mikroplastik parçacıklar ve 8.12-16.8 µm boyutunda mikroplastik lifler tespit etmiştir. Akciğer dokusunda tespit edilen mikroplastiklerin

boyutu, atmosferdekilerden daha küçük olmakla beraber, bu çalışma insanların solunum yoluyla mikroplastiklere maruz kalabileceğini bir kez daha doğrulamaktadır.

Paris'te dış ve iç ortam havasının ortalama mikroplastik değerleri sırasıyla 5.4 MP/m³ ve 0.9 MP/m³ (Dris ve ark., 2017) iken, *Şanghay'ın dış* ortam havasında ortalama mikroplastik değeri 1.42 MP/m³ ve boyut ise 23-5000 µm aralığında belirlenmiştir (Liu ve ark., 2019a).

2.3. Cilt Temasıyla Plastik Parçacıkların Alımı

İnsan vücuduna mikroplasiklerin alınabilme ihtimalinin olduğu son maruz kalma yolu, mikro ve nanoplastik içeren sabun, diş macunu, kozmetik ürünleri ile yüz veya vücut peelingleri gibi kişisel bakım ürünlerinin gözenekler yoluyla cilde temas etmesi ya da kirlenmiş sularla yıkama yapılması sırasında olabilir. Ayrıca plastik üretimi ve atık yönetimi gibi sektörlerde çalışan işçiler, doğrudan cilt teması yoluyla mikroplastiklerle temas halindedir. Deri tabakasının içine partiküllerin nüfuz etme durumu 100 nm'den küçük parçacıklarla sınırlı olabileceğinden mikroplastiklerin yerine nanoplastiklerin emiliminin daha olası olduğu vurgulanmaktadır (Revel ve ark., 2018). Bununla beraber maruz kalma seviyesi, cilt gözeneklerinin büyüklüğü ve özelliklerindeki farklılıklar nedeniyle bireyler arasında değişiklik gösterebilir (Enyoh ve ark., 2020; Emenike ve ark., 2023).

Enyoh ve ark. (2020) yaptıkları araştırmada, yüz yıkama ürünlerinin (% 50) ve yüz peelinglerinin (% 67) önemli seviyede mikro boncuklar içerdiğini belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada ise koruyucu cep telefonu kılıfları (PMPC) kullanım sırasında mikroplastik üretebildiği ve bunların insan eline bulaşabileceği belirtilmiştir.(Li ve ark., 2023).

3. İNSAN VÜCUDUNDA TESPİT EDİLEN MİKROPLASTİKLERİN DAĞILIMI

Mikroplastikler emildikten sonra, partiküller dolaşım sistemine erişebilir, diğer organlara yayılabilir ve potansiyel olarak çeşitli organlara veya dokulara zarar verebilir. Yapılan bir çalışma, trakea içine verilen PE tipi polimerlerin farelerin akciğerlerinde en fazla biriktiğini, bunu sırasıyla kalp, karaciğer ve bağırsakların izlediğini ortaya koymuştur (Han ve ark., 2021).

Mikroplastiklerin yaygın varlığı insan kanında (Leslie ve ark., 2022), beyin, karaciğer ve böbrekte (Horvatits ve ark., 2022; Nihart ve ark., 2024), akciğerlerde (Pauly ve ark., 1998; Liu ve ark., 2019a; Liu ve ark., 2019b; Baeza-Martínez ve ark., 2022a; Baeza-Martínez ve ark., 2022b; Jen-

ner ve ark., 2022; Alpaydin ve ark., 2024), plasentada (Braun ve ark., 2021; Ragusa ve ark., 2021; Liu ve ark., 2023; Zhu ve ark., 2023), idrar ve gaitada (Harvey ve Watts, 2018; Horvatits ve ark., 2022; Pironti ve ark., 2022; Santos ve ark., 2018; Schwabl ve ark., 2019; Smith ve ark., 2018; Sripada ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2021a; Zhang ve ark., 2021b), anne sütünde (Flack ve Shaw, 2003; Halden, 2010; Ragusa ve ark., 2022) ve üreme sisteminde (Fournier ve ark., 2020; Zhao ve ark., 2023a) tespit edilmiştir.

3.1. Akciğer

Pauly ve ark. (1998), insan akciğer dokularında mikroplastiklerin varlığını ilk kez tespit ettiler. Sonraki araştırmalar, insan akciğer dokularında farklı boyutlarda (1.60-5.56 µm) ve farklı kategorilerde (PP, PET ve PS) ve farklı içeriklerde (31 ve 39 mikroplastik) mikroplastikler tespit etmişlerdir (Liu ve ark., 2019a; Liu ve ark., 2019b).

Alpaydin ve ark. (2024) ise akciğer dokusunu yansıtan bronkoalveolar lavaj (BAL) sıvısında ve kanda mikropartiküllerin varlığını, bileşimini ve karakterizasyonu incelenmişlerdir. BAL örneklerinde en sık gözlemlenen MP boyutu 4.19-792.00 µm arasında iken, rengi gri/beyaz olarak tespit edilmiştir. Tanımlanan polimer tipleri ise PA, PES, PVC ve poliüretanlar (PU) olmuştur. Kan örneklerinde ise MP boyutları 13.14 ile 20.29 µm arasında olup, ağırlıklı olarak gri/beyaz ve mavi renkte belirlenmiştir.

3.2. Kan

Yakın zamanda araştırmacılar, insan kanında PP, PET, PS ve polimetil metakrilat (PMMA) polimer özelliğinde mikropartiküllerin varlığını bildirmişlerdir (Leslie ve ark., 2022). Yapılan çalışmada MP'lerin insan kan dolaşımına ulaşabileceği görülmüş olup, mikropartiküllerin boyutu ≥700 nm olarak tespit edilmiştir. Kandaki ortalma MP miktarı ise 1.6 µg/mL olarak belirlenmiştir.

3.3. İdrar ve Gaita

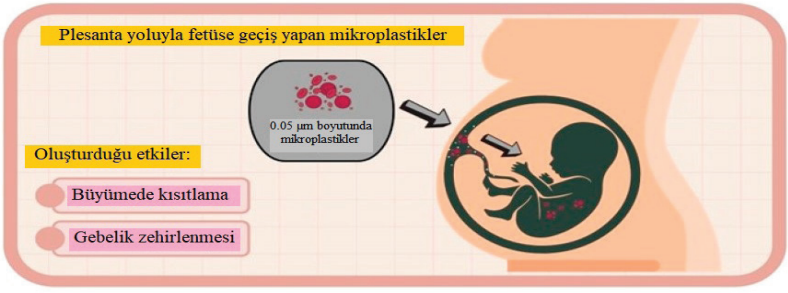
İdrar örnekleri, kimyasalların atılımı hakkında bilgi sağladığı, toplanmasının kolay olduğu, invaziv olmayan ve işlenmesi uygun fiyatlı bir örnek olduğu için insan biyomonitör çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Santos ve ark., 2018). Çeşitli yaşlarda ve cinsiyetlerdeki insanlardan toplanmış idrar örneklerinde 4 ila 15 µm arasında değişen boyutlarda mikroplastikler tespit edilirken erkeklerde PP ve PE, kadınlarda ise PVC ve polietilen vinil asetat (PVA) özellikte polimer belirlenmiştir (Pironti ve ark., 2022). Horvatits ve ark. (2022), ise 3 vakada böbreklerde boyutları 10-20 µm (0-0.3 MP/g) arasında değişen MP tespit etmişlerdir.

İnsanlarda gastrointestinal düzeydeki mikroplastik seviyelerine ilişkin düşünceler, insan dışkısında mikroplastiklerin bulunmasıyla daha da doğrulanmıştır. Gaitada yapılan ilk çalışmalara bakıldığında her 10 g dışkıda, çoğunlukla PE ve PP'den oluşan (boyutları 5 ile 500 mm arasında değişen) yirmi plastik parçacık tespit edilmiştir (Harvey ve Watts, 2018). Böylelikle gerçekten de insan boşaltım sisteminin, yutulan mikro ve nanoplastiklerin %90'ına kadarını uzaklaştırmaktan sorumlu olduğu görülebilmektedir (Smith ve ark., 2018).

Diğer bir çalışmada ise Avrupa ve Asya'da 33-65 yaş arası sağlıklı insanlardan alınan dışkı örneklerinde PP ve PET özellikli ortalama 2 adet mikroplastik tespit edilmiştir (Schwabl ve ark., 2019). Başka bir çalışmada, Çin'de 18-25 yaş arası bireylerden toplanan örneklerin % 95.8'inde MP miktarları 1-36 MP/g arasında bulunurken, PP tipinde polimer en baskın mikroplastik olmuştur (Zhang ve ark., 2021a). Mikroplastiklere maruz kalma konusunda hassas kişiler olarak karşımıza hamile kadınlar ve bebekler çıkmaktadır (Sripada ve ark., 2022). Bebeklerde yapılan çalışmada dışkıdaki mikroplastik (PET polimer özelliğinde) seviyesi 5700-82.000 ng/g arasında iken, yetişkinlerde daha düşük seviyede 2200-16.000 ng/g arasında tespit edilmiştir. Çalışma ile bebeklerin mikroplastiklere daha yüksek seviyede maruz kaldığı belirlenmiştir (Zhang ve ark., 2021b).

3.4. Plasenta

Ragusa ve ark. (2021) ilk kez insan plasentasında 5-10 µm arasında değişen 12 adet plastik özelikte parçacık tespit etmişlerdir. Daha sonraki çalışmalarda ise Zhu ve ark. (2023) 17 plasenta örneğinde boyutları 20.34-307.29 µm arasında değişen mikroplastikleri belirlemişlerdir. Liu ve ark. (2023) da anne ve bebek çiftlerine yönelik yaptıkları çalışmada plasenta, mekonyum, bebek dışkısı, anne sütü ve bebek maması örneklerinde 16 tip mikroplastik tespit etmiştir. Mikroplastiklerin plasentaya geçiş yolu Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. *Mikroplastiklerin plasenta yoluyla fetüse geçiş yolu (Lin ve ark., 2023'ten uyarlanmıştır).*

Çin'de yapılan bir çalışmada ise çeşitli yaşlardaki annelerden alınan 17 plasenta dokusu üzerinde yapılan bir çalışmada, doku başına 0.28-9.55 MP arasında değişen seviyede (ortalama 2.70±2.65 MP/g) mikroplastik belirlenirken, LDIR (laser direct infrared) yöntemiyle toplam 11 farklı plastik polimer türü (PVC [% 43.3], PP [% 14.6], polibütilen süksinat [PBS, % 10.9], PET [% 7.3], PC [% 6.9], PS [% 5.8], PA [% 5.4], polyester elyaf [% 2.9], PE [% 1.4], poliakrilamid [PAM, % 0.7] ve polisülfon [PSF, % 0.7]) tespit edilmiştir (Zhu ve ark., 2023). Almanya'da yapılan çalışmada ise plasenta dokusunda 50 µm'den büyük boyutlarda PE ve PP özellikte polimer bulunurken, merkezi bölgeden toplanan dokuda PE ve PU tespit edilmiştir (Braun ve ark., 2021).

Bilim insanları 150 µm'den küçük sentetik parçacıkların yalnızca % 0.3'ünün emilmesinin beklendiğini, daha düşük bir oranın (% 0.1) ise 10 µm'den büyük parçacıklar içerdiğini ve bu parçacıkların ise hem organlara hem de hücre zarlarına ulaşabileceğini ve plasentayı geçebileceğini tahmin etmektedir (Barboza ve ark., 2018).

3.5. Anne Sütü

Sağlıklı yenidoğanlar için temel besin kaynağı olan anne sütü, annenin beslenme şekline ve beslenme durumuna bağlı olarak içeriğinde farklılık gösteren özel bir besindir (Flack ve Shaw, 2003). İtalya'daki çalışmada, değişken yaşlardaki kadınlardan toplanan anne sütü örneklerinde 0-2.72 MP/g (boyutları 4-9 µm [% 47] arasında, ≤3 µm [% 29] ve 10< µm [% 24] olan) arasında değişen miktarlarda plastik parçacıklar bulunurken, Raman spektroskopisi yöntemi ile PE (% 38), PVC (% 21) ve PP (% 21) özellikte polimerler belirlenmiştir. Anne sütünde mikroplastiklerin tespit edilmesi, yenidoğanlarda mikroplastik kaynağı olarak anne sütünün önemli etkenlerden biri olabileceğini düşündürmektedir (Ragusa ve ark., 2022). Ayrıca plastik ve epoksi reçinede sıklıkla bulunan bisfenol a (BPA)'nın anne sütünde tespit edilmesinin mikroplastikler ile ilişkilili olabileceği de bildirilmiştir (Halden, 2010).

3.6. Erkek Üreme Sistemi

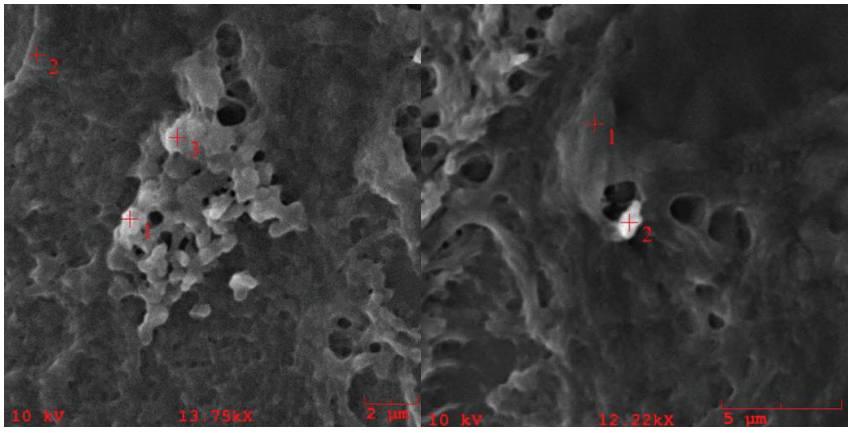
Mikroplastiklerin insan üreme sistemi üzerindeki etkisini inceleyen araştırmalar sınırlı sayıda olmakla birlikte, çok sayıda hayvan çalışmasının sonuçları göz önüne alındığında, mikroplastiklerin insan üreme sistemleri üzerinde zararlı etkileri olabileceği öne sürülmektedir (Fournier ve ark., 2020).

Zhao ve ark. (2023a) tarafından Çin'de farklı yaşlardaki testis donörü üzerinde yapılan bir çalışmada, LDIR yöntemi kullanılarak 6 bireyin 4'ünde ortalama 1.60±15.5 MP/g plastik parçacık bulunmuştur. Aynı ça-

lışmada, farklı yaşlardaki bireylerden alınan 30 sperm örneğinde ise ortalama 0.23±0.45 MP/mL plastik parçacık bildirilmiştir. En baskın olan polimer tipi testislerde PS iken, sperm örneklerinde PE ve PVC olarak belirlenmiştir.

3.7. Beyin, Karaciğer ve Böbrek Dokuları

Nihart ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada insan beyin, karaciğer ve böbrek dokularında bulunan küçük plastik parçacıkların büyük çoğunluğunun PE özellikte polimerlerden oluştuğu rapor edilmiştir. Normal ölü beyin örneklerindeki plastik partiküllerin seviyeleri, karaciğer veya böbreklerde görülen konsantrasyonlardan 7-30 kat daha fazla tespit edilmiş olup, demans vakalarından alınan beyin örneklerindeki plastik parçacıkların miktarı ise daha da yüksek olmuştur. Araştırmacılar beyinde bulunan parçacıkların karbon bazlı olduğunu enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi ile SEM kullanarak doğrulamışlarıdır (Şekil 5).



Şekil 5. *Beyin dokularında tespit edilen karbon bazlı parçacıklar (Nihart ve ark., 2024).*

4. MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Plastik üretiminde kullanılan katkı maddelerinden özellikle nörolojik sorunlar (öğrenme bozuklukları ve otizm), astım, endokrin sistemi bozucular, çeşitli kanserler (testis, prostat ve meme kanseri gibi), üreme sisteminde bozukluklar (kısırlık ve genital malformasyonlar) ve metabolik sorunlar (diyabet ve obezite) dahil olmak üzere çeşitli hastalıklar ve olumsuz durumlarla ilişkilendirmiştir (Wright ve Kelly, 2017). Ayrıca bu parçacıklar maruz kalma seviyesine bağlı olarak oksidatif strese, sitotoksisiteye ve diğer dokulara translokasyona neden olabilmektedirler (Prata ve ark., 2020).

4.1. Yutma Nedeniyle Karşılaşılan Sorunlar

4.1.1. Gastrointestinal Sorunlar

Mikroplastiklere maruz kalmayla ilişkili önemli bir sağlık sorunu olarak gastrointestinal problemler ortaya çıkmıştır. Araştırmalar mikroplastik parçacıkların, kirlenmiş yiyecek veya su yoluyla yutulmasının çeşitli gastrointestinal sorunlara yol açabileceğini öne sürmektedir (Zhao ve ark., 2023b). Bu sorunlar arasında sindirim sisteminin iltihaplanması, kabızlık, irritabl bağırsak sendromu, bağırsak mikrobiyotasının bozulması ve bağırsak geçirgenliğindeki değişiklikler yer alabilir (Zhao ve ark., 2023b; Qiao ve ark., 2019). Ayrıca, mikroplastiklerin sindirim sisteminde biriktiği ve burada fiziksel tahrişe ve tıkanmalara neden olabileceği keşfedilmiştir (Wright ve Kelly, 2017). Mikroplastiklerin gastrointestinal sistemdeki hücresel etkilerinin, adjuvan aktivitelerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir; bu da yüzeylerine adsorbe olan biyomoleküllere karşı bağışıklık tepkisini artırabilecekleri anlamına gelir (Powell ve ark., 2010). Mikroplastik maruziyeti, konakçı organizma ile doğal bağırsak mikrobiyotası topluluğu arasındaki simbiyotik ilişki üzerinde önemli etkilere sahiptir ve disbiyoz olarak bilinen bir bozulmaya yol açar. Disbiyoz, konakçının bağışıklık sistemi üzerinde zararlı etkilere sahip olabilir ve potansiyel olarak kronik hastalıklara, patojenik enfeksiyonlara karşı artan savunmasızlığa ve bağırsak mikrobiyotasının genetik yeteneğinde ve ifadesinde değişikliklere yol açabilir. (Fackelmann ve Sommer, 2019; Deng ve ark., 2020).

Diş macunundaki mikroplastikler ve mikro boncuk parçacıkları bilinçsizce yutulabilir ve gastrointestinal sistem yoluyla emilebilir (Lassen ve ark., 2015). Mikropartiküllerin dönüşümlü olarak yutulması, kromozomlarda değişikliklere neden olabilir ve bu da kısırlık, obezite ve kansere yol açabilir (GESAMP, 2015). Ayrıca mikroplastiklerin bağırsak sistemini kirletmesi, vücudun diğer bölgelerine yayılma açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır (Kor ve Mehdinia, 2020).

Ayrıca Kannan ve Vimalkumar (2021) tarafından plastikler ve içeriğindeki çeşitli katkı maddelerin obeziteye neden olduğu bildirilmiştir.

4.1.2. Endokrin Sisteminin Bozulması

Endokrin sisteminin bozulması, mikroplastiklerin potansiyel etkilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Mikroplastikler, endokrin bozucu bileşikler de dahil olmak üzere çeşitli kimyasalları içerebilir veya dış ortamdan emebilir. Endokrin bozucu bileşikler, endokrin sistemin normal işleyişine müdahale edebilme özelliğinde olan ve organizmalarda sağlık

sorunlarına yol açabilen maddeler olarak tanımlanmaktadır (Surana ve ark., 2022).

Endokrin bozucu bileşikler olarak bilinen BPA, nonilfenol, ftalat esterleri ve oktilfenol gibi bileşikler, plastik üretimi sırasında katkı maddesi olarak sıklıkla tercih edilmektedir (Wee ve ark., 2022). Mikroplastikler yutulduğunda veya organizmalarla temas ettiğinde serbest duruma geçen bu bileşikler hormonal denge, üreme fonksiyonu, gelişim ve genel sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Kontrick, 2018).

4.1.3. Patojenlerin Taşınması

Mikroplastikler bakteri ve çeşitli organizmaları kendine yüzeyine çekerek sucul ortamlarda biyofilmlerin oluşmasına neden olabilmektedir (Kirstein ve ark., 2016). Böylelikle "Plastisfer" terimi ilk kez Zettler ve ark. (2013) tarafından deniz ortamlarındaki mikroplastik yüzeylerde yaşayan benzersiz mikrobiyal toplulukları tanımlamak için kullanılmıştır.

Mikroplastikler, patojenik bakteriler için taşıyıcı görevi gördüklerinde, su kaynaklarını ve gıda zincirlerini kirleterek hastalıkların yayılmasına neden olabilirler (Li ve ark., 2022). Yutulduktan sonra, mikroplastikler ve bunlarla ilişkili patojenik bakteriler gastrointestinal sistemde birikerek enfeksiyonlara veya inflamatuar yanıtlara neden olabilir. Mikroplastiklerde bulunan bazı patojenik bakteriler, insanlarda gastrointestinal hastalıklar, solunum yolu enfeksiyonları ve cilt hastalıklarıyla ilişkilendirilmiştir (Galafassi ve ark., 2021).

Hong Kong'daki atık su arıtma tesislerinde yapılan ve kanalizasyondaki mikroplastiklerin kolonizasyonunu inceleyen bir çalışma, bakteriyel toplulukların ham kanalizasyonda bekletilen polietilen mikro boncukların yüzeylerinde biyofilmler oluştuğunu ve zamanla bakteriyel çeşitlilikte bir artış olduğunu, mikroplastikler üzerindeki bakteriler arasında insan ve balık patojenlerinin bulunuğunu ortaya koymuştur (Lai ve ark., 2022).

Başka bir çalışmada ise Kuzey ve Baltık Denizi'nden toplanan farklı mikroplastik yüzeylerinde *Vibrio parahaemolyticus* türü belirlenmiş ve mikroplastikler üzerindeki *Vibrio* kolonizasyonunun çevredeki deniz suyundan kaynaklanabileceği öne sürülmüştür (Kirstein ve ark., 2016).

4.2. Soluma Nedeniyle Karşılaşılan Sorunlar

4.2.1. Solunum Yolu Sorunları

Havada bulunan mikroplastiklerin solunması solunum ile ilgili sorunlara yol açabilir. Küçük boyutlu bu partiküller solunum yolunda tah-

rişe ve iltihaplanmaya neden olarak öksürük, hırıltı, nefes darlığı gibi semptomlara ve astım gibi önceden var olan solunum rahatsızlıklarının şiddetlenmesine neden olabilir (Abbasi ve ark., 2019; Alpaydin ve ark., 2024). Ayrıca ani bronşiyal reaksiyonlar (astım benzeri), yaygın interstisyel fibrozis ve lif inklüzyonlu granülomlar (ekstrinsik alerjik alveolit, kronik pnömoni), bronşiyal ve peribronşiyal dokuda inflamatuar ve fibrotik değişiklikler (kronik bronşit) ve interalveolar septa lezyonları (pnömotoraks) da görülebilen rahatsızlıklardır (Prata, 2018).

Daha ince lif özelliğindeki plastikler solunum sistemine solunabilirken, daha uzun liflerin akciğer hücrelerinde kalıcılığı ve toksisitesi artabilmektedir. (Warheit ve ark., 2001). 0.3 μm'den daha ince ve 10 μm'den daha uzun olan liflerin daha çok kanserojen etki gösterdiği bildirilmiştir (Wright ve Kelly, 2017). Başka bir çalışmada ise 50 nm boyutundaki polistiren parçacıklarının, akciğer epitel hücreleri ve makrofajlar üzerinde genotoksik ve sitotoksik etkilere yol açtığı belirlenmiştir (Paget ve ark., 2015).

4.2.2. Kardiyovasküler Sorunlar

Çalışmalar, mikroplastiklere maruz kalmanın hipertansiyon, ateroskleroz ve kalp ritmi bozuklukları dahil olmak üzere kardiyovasküler rahatsızlıkların gelişmesine veya kötüleşmesine katkıda bulunabileceğini göstermektedir (Persiani ve ark., 2023). Son araştırmalar, vücut sıvılarında çeşitli şekil ve boyutlarda plastik parçacıkların bulunabileceğini ve bunların birikiminin nihayetinde vasküler hastalığa yol açabileceğini göstermiştir (Kontrick, 2018; Leslie ve ark., 2022).

4.3. Cilt Teması Nedeniyle Karşılaşılan Sorunlar

4.3.1. Cilt Tahrişi

Mikroplastik parçacıklar ciltle temas ettiğinde tahrişe, kızarıklığa, kaşıntıya ve iltihaplanmaya neden olabilir. Bazı mikroplastiklerin aşındırıcı yapısı ve gözenekleri tıkama veya cildin doğal bariyer fonksiyonunu bozma potansiyeli bu olumsuz reaksiyonlara katkıda bulunabilir (Rahman ve ark., 2021). Ayrıca, mikroplastikler cilt tahrişini daha da kötüleştiren katkı maddeleri veya kirleticiler içerebilir (Campanale ve ark., 2020; Kim ve ark.,2021).

PE mikroplastik parçacıkları içeren yüz yıkama jelleri, el temizleyicileri, diş macunları ve diş bakım ürünlerinin kullanımından kaynaklanan sağlık riskleri, Alman Federal Risk Değerlendirme Enstitüsü (BfR, 2015) tarafından değerlendirilmiştir. Yüz maskesi peelinglerinde ve duş ürünlerinde kullanılan mikroplastik parçacıkların 1 μm'den büyük olduğu ve

bu ürünlerin uzun süreli kullanımının PE ve PP parçacıklarının dokulara emilmesine ve sonuç olarak cilt hasarına neden olduğunu bildirmişlerdir (Lassen ve ark., 2015).

4.3.2. Alerjik Reaksiyon

Ciltle temas eden mikroplastik parçacıklar ayrıca alerjenlere neden olabilir ve bağışıklık tepkilerini tetikleyebilir. Vücudun bağışıklık sistemi bu yabancı parçacıkları zararlı olarak algılayabilir ve histaminler ile diğer iltihaplı maddeleri salgılayarak alerjik semptomlara yol açabilir (Hwang ve ark., 2019; Tiwari ve ark., 2023).

Bu belirtiler arasında kaşıntı, kızarıklık, şişme, kurdeşen ve nadir durumlarda anafilaksi gibi daha ciddi reaksiyonlar da yer alabilir (Patil ve ark., 2022). Yüksek konsantrasyonlarda PP mikroplastiklere maruz kalmanın bağışıklık tepkilerini tetikleyebileceği ve hücrelerde aşırı duyarlılığı artırabileceği gösterilmiştir (Hwang ve ark., 2019).

Plastik üretimi ve atık yönetimi gibi sektörlerde çalışan işçiler, doğrudan cilt teması yoluyla mikroplastiklerle temas edebilirler. Bu maruz kalma cilt tahrişine ve diğer sağlık sorunlarına yol açabilir. Mikroplastik kirliliğinin yaygın olduğu bölgelerde boş zaman aktivitelerine katılan kişiler, ciltleriyle doğrudan temas yoluyla da mikroplastiklere maruz kalabilirler. Bu aktiviteler arasında yüzme, balıkçılık ve tekne gezintisi gibi etkinlikler yer almaktadır (Emenike ve ark., 2023).

Bu mikro tanecikler, ciltte bulunduklarında, bakterilerin cilde girmesine olanak sağlayan küçük açıklıklar oluşturarak cilt yaşlanmasına ve koyu lekelerin oluşmasına yol açabilirler. (Emenike ve ark., 2023).

Mikroplastiklerin deri yoluyla maruz kalması sırasında, bromlu alev geciktiriciler (BFR), bisfenoller (BP), triklosan (TCS) ve ftalatlar dahil olmak üzere bazı tipik plastik katkı maddeleri emilebilir. Çocuklar emeklerken veya oynarken yerdeki mikroplastiklerle temas edebilirler. (Wu ve ark., 2022).

4.4. Üreme Sisteminde Karşılaşılan Sorunlar

Üreme organlarında mikroplastiklerin birikmesi üreme toksisitesine yol açabilir ve üreme kapasitesini etkileyebilir. Mikroplastikler testis iltihabına neden olabilir, testis kan bariyerini tahrip edebilir ve testis sperm anormalliklerine neden olacak şekilde iltihaplanmaya yol açabilir (Jin ve ark., 2021). Bu olaylar sperm sayısında ve hareketliliğinde önemli bir azalmaya ve sperm malformasyon oranında önemli bir artışa yol açar (Hou ve ark., 2021a; Hou ve ark., 2021b).

5. SONUÇ

Plastikler, günlük yaşamımızdaki nesnelerin büyük çoğunluğunu oluşturan değerli, kullanışlı ve faydalı bir malzemedir; ancak günümüz dünyasında, plastiklerin yanlış yönetimi, uygunsuz ve kötüye kullanımı sonucu her yerde bulunabilen plastik atıklar parçalanarak mikroplastiklerin oluşumunda esas teşkil eden kaynaklar olmaktadır. İnsanlarda da gıda zincirinin her aşamasına hakim olmuş durumdadırlar. Başta mikroplastik bulaşmış gıdaların tüketilmesi dışında soluma ve cilt teması ile küçük plastik parçacıkların insan vücuduna alındığını gösteren çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, gerçek konsantrasyonları ise henüz tam olarak bilinmemektedir. Araştırmacılar, 20 μm'den küçük boyutlu mikropartiküllerin organlara nüfuz edebildiğini, 10 μm'den küçük mikropartiküllerin ise hücre zarlarına nüfuz edebildiğini ve plasenta bariyerini geçebildiğini bildirmişlerdir. İnsanların mikroplastiklere maruz kalınması sonucu, kanser oluşumu da dahil olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarının oluşması küresel boyutta ciddiye alınması gereken bir hal almıştır. Bu nenenle ülkeler tarafından etkin bir atık yönetim planının ele alınması, insanlarda farkındalığın artırılması, çevreye atılan çöp miktarını önemli ölçüde sınırlayacak iyileştirmelerin geliştirmesi ve uygulanması önemlidir.

KAYNAKÇA

Abbasi, S., Keshavarzi, B., Moore, F., Turner, A., Kelly, F. J., Dominguez, A. O., & Jaafarzadeh, N. (2019). Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. *Environmental Pollution*, *244*, 153-164. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.039

Afrin, S., Rahman, M. M., Hossain, M. N., Uddin, M. K., & Malafaia, G. (2022). RETRACTED: 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. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155849

Ali, N., Katsouli, J., Marczylo, E. L., Gant, T. W., Wright, S., & De La Serna, J. B. (2024). The potential impacts of micro-and-nano plastics on various organ systems in humans. *EBioMedicine*, *99*, 104901. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2023.104901

Alpaydin, A. Ö., Uçan, E. S., Köktürk, M., Atamanalp, M., Kalyoncu, Ç., Yiğit, S., ... & Alak, G. (2024). Microplastics, as a risk factor in the development of interstitial lung disease-a preliminary study. *Environmental Pollution*, *363*, 125054. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125054

Amato-Lourenço, L. F., dos Santos Galvão, L., de Weger, L. A., Hiemstra, P. S., Vijver, M. G., & Mauad, T. (2020). An emerging class of air pollutants: potential effects of microplastics to respiratory human health?. *Science of the Total Environment*, *749*, 141676. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141676

Atıcı, A. A. (2024). *Detection of microplastics in Turkish Salmon purchased from supermarket. I.* International Ankara Scientific Research Congress, Ankara, Turkey. pp. 138-148.

Atıcı, A. A. (2025b). Some Aquatic Organisms Used For Microplastic Studies in Türkiye's Inland Waters. *Present Insight in Natural Sciences* (pp.207-229), Ankara: İksad Yayınevi.

Atici, A. A. (2022). The first evidence of microplastic uptake in natural freshwater mussel, *Unio stevenianus* from Karasu River, Turkey. *Biomarkers*, *27*(2), 118-126. https://doi.org/10.1080/1354750X.2021.2020335

Atici, A. A. (2025a). Microplastic Pollution in Surface Waters and Sediments of Urban Lake. In: Kurniawan, T. A. & Anouzla, A. (Eds.). *Handbook of Microplastic Pollution in the Environment: Microplastic Pollution in Aquatic Environments*. (pp. 192-233). Florida: Crc Press-Taylor & Francis Group. https://doi.org/10.1201/9781003487555

Atici, A. A., Sepil, A., & Sen, F. (2020). Evaluation of plastic pollution on the east coast of Zeve Campus (Van) using the clean coast index. *Review of Hydrobiology*, *13*(1), 1-10.

Atici, A. A., Sepil, A., & Sen, F. (2021). High levels of microplastic ingestion by commercial, planktivorous *Alburnus tarichi* in Lake Van, Turkey. *Food*

Additives & Contaminants: Part A, *38*(10), 1767-1777. https://doi.org/10.1080/19440049.2021.1941304

Atici, 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. https://doi.org/10.1080/02757540.2021.2022126

Aydın, İ., Terzi, Y., Gündoğdu, S., Aytan, Ü., Öztürk, R. Ç., Atamanalp, M., Alak, G., Sivri, N., Akarsu, C., Atıcı, A. A., Güven, O., Bat, L., Kılıç, E., Öztekin, A., Uçar, A., Sönmez, V. Z., Paslı, S., & Kıdeyş, A. E. (2023). Microplastic pollution in Turkish aquatic ecosystems: sources, characteristics, implications, and mitigation strategies. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 23*(12). https://doi.org/10.4194/trjfas24773

Ayşin, B. (2024). *Van İli İçme Sularında Mikroplastik Kalıntısının Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Van, s. 71.

Aytan, U., Esensoy, F. B., & Senturk, Y. (2022). Microplastic ingestion and egestion by copepods in the Black Sea. *Science of The Total Environment*, *806*, 150921. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150921

Baeza-Martínez, C., Olmos, S., González-Pleiter, M., López-Castellanos, J., García-Pachón, E., Masiá-Canuto, M., Hernández-Blasco, L., & Bayo, J. (2022a). First evidence of microplastics isolated in European citizens' lower airway. *Journal of Hazardous Materials*, *438*, 129439. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129439

Baeza-Martínez, C., Zamora-Molina, L., Garcia-Pachon, E., Masiá, M., Hernandez-Blasco, L., & Bayo, J. (2022b). Environmental microplastics in the lower airway of shoe manufacturing workers. *Open Respiratory Archives*, *4*(4), 100209. https://doi.org/10.1016/j.opresp.2022.100209

Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2014). Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental Pollution*, *185*, 16-23. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.007

Barboza, L. G. A., Vethaak, A. D., Lavorante, B. R., Lundebye, A. K., & Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, *133*, 336-348. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.047

BfR (2015) Microplastic Particles in Food. BfR Opinion No. 013/2015 of 30 April 2015. English summary of the report Mikroplastikpartikel in Lebensmitteln, Stellungnahme Nr. 013/2015 des BfR vom 30. April 2015. German Federal Institute for Risk Assessment.

Bingel, F., Avsar, D. & Unsal, M. (1987). A note on plastic materials in trawl catches in the north-eastern Mediterranean. *Meeresforschung, 31*(3-4), 227–233.

Braun, T., Ehrlich, L., Henrich, W., Koeppel, S., Lomako, I., Schwabl, P., & Liebmann, B. (2021). Detection of microplastic in human placenta and

meconium in a clinical setting. *Pharmaceutics*, *13*(7), 921. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13070921

Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines woldwide: sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, *45*(21), 9175-9179. https://doi.org/10.1021/es201811s

Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(4), 1212. ttps://doi.org/10.3390/ijerph17041212

Catarino, A. I., Macchia, V., Sanderson, W. G., Thompson, R. C., & Henry, T. B. (2018). Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibres fallout during a meal. *Environmental Pollution*, *237*, 675-684. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.069

Chen, Y. C., Chen, K. F., Lin, K. Y. A., Su, H. P., Wu, D. N., & Lin, C. H. (2023). Evaluation of toxicity of polystyrene microplastics under realistic exposure levels in human vascular endothelial EA. hy926 cells. *Chemosphere*, *313*, 137582. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137582

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. https://doi.org/10.1021/es400663f

Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., & Dudas, S. E. (2019). Human consumption of microplastics. *Environmental Science & Technology*, *53*(12), 7068-7074. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517

Crutzen, P. J., & Stoermer, E. F. (2022). The 'anthropocene'(2000). In *Paul J. Crutzen and the anthropocene: A new epoch in Earth's History* (pp. 19-21). Cham: Springer International Publishing.

Çini Barutçu, E., & Polat, N. (2021). Detection of Microplastics in the Digestive System of Prussisan Carp (*Carassius gibelio*) Inhabiting Mert River (Samsun, Turkey). *6. International Congress on Environmental Research and Technology (ICERAT'21)*, Adana, Tukey. pp. 36-37.

Deng, Y., Yan, Z., Shen, R., Wang, M., Huang, Y., Ren, H., Zhang, Y., & Lemos, B. (2020). Microplastics release phthalate esters and cause aggravated adverse effects in the mouse gut. *Environment International*, *143*, 105916. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105916

Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2020). Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants. *Sustainability*, *12*(14), 5514. https://doi.org/10.3390/su12145514

Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, *221*, 453-458. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013

Ebere, E. C., Wirnkor, V. A., & Ngozi, V. E. (2019). Uptake of microplastics by plant: a reason to worry or to be happy. *World Science News*, *131*, 256-267.

EFSA. (2016). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *Efsa Journal*, *14*(6), e04501.

Emenike, E. C., Okorie, C. J., Ojeyemi, T., Egbemhenghe, A., Iwuozor, K. O., Saliu, O. D., ... & Adeniyi, A. G. (2023). From oceans to dinner plates: The impact of microplastics on human health. *Heliyon*, *9*(10). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20440

Enyoh, C. E., Shafea, L., Verla, A. W., Verla, E. N., Qingyue, W., Chowdhury, T., & Paredes, M. (2020). Microplastics exposure routes and toxicity studies to ecosystems: an overview. *Environmental Analysis, Health and Toxicology*, *35*(1), e2020004. https://doi.org/10.5620/eaht.e2020004

Fackelmann, G., & Sommer, S. (2019). Microplastics and the gut microbiome: how chronically exposed species may suffer from gut dysbiosis. *Marine Pollution Bulletin*, *143*, 193-203. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.030

FAO. The state of the worlds fisheries and aquaculture; 2016;4-10.

Flack, S. & Shaw, V. (2003). INFANTS | breast- and bottle-feeding. In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. pp. 3288-3293. Elsevier.

Fournier, S. B., D'Errico, J. N., Adler, D. S., Kollontzi, S., Goedken, M. J., Fabris, L., Yurkow, E. J., & Stapleton, P. A. (2020). Nanopolystyrene translocation and fetal deposition after acute lung exposure during late-stage pregnancy. *Particle and Fibre Toxicology*, *17*(1), 55. https://doi.org/10.1186/s12989-020-00385-9

Galafassi, S., Sabatino, R., Sathicq, M. B., Eckert, E. M., Fontaneto, D., Dalla Fontana, G., ... & Di Cesare, A. (2021). Contribution of microplastic particles to the spread of resistances and pathogenic bacteria in treated wastewaters. *Water Research*, *201*, 117368. https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117368

Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., ... & Tassin, B. (2018). Microplastics in air: are we breathing it in?. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *1*, 1-5. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.002

Gedik, K., & Eryaşar, A. R. (2020). Microplastic pollution profile of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected along theTurkish coasts. *Chemosphere*, *260,* 127570. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127570

Gedik, K., Eryaşar, A. R., Emanet, M., Şahin, C., & Ceylan, Y. (2023). Monthly microplastics change in European anchovy's (*Engraulis encrasicolus*) gastrointestinal tract in the Black Sea. *Marine Pollution Bulletin, 194,* 115303. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115303

GESAMP. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. In: Kershaw PJ (ed) (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of

Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep Stud GESAMP No. 90, pp 96.

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782

Gündoğdu, S. (2018). Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food Additives & Contaminants: Part A*, *35*(5), 1006-1014. https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1447694

Gündoğdu, S., Cevik, C., & Ataş, N. T. (2020). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tracts of some edible fish speciesalong the Turkish coast. *Turkish Journal of Zoology*, *44*(4), 312-323. https://doi.org/10.3906/zoo-2003-49

Güven, O., Gökdağ, K., Jovanović, B., & Kıdeyş, 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. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.025

Halden, R. U. (2010). Plastics and health risks. *Annual Review of Public Health*, *31*(1), 179-194. https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.012809.103714

Han, Y., Song, Y., Kim, G. W., Ha, C., Lee, J., Kim, M., ... & Heo, Y. (2021). No prominent toxicity of polyethylene microplastics observed in neonatal mice following intratracheal instillation to dams during gestational and neonatal period. *Toxicological Research*, *37*(4), 443-450. https://doi.org/10.1007/s43188-020-00086-7

Harvey, F., & Watts, J. (2018). Microplastics found in human stools for the first time. *The Guardian*, *22*.

Horvatits, T., Tamminga, M., Liu, B., Sebode, M., Carambia, A., Fischer, L., ... & Fischer, E. K. (2022). Microplastics detected in cirrhotic liver tissue. *EBioMedicine*, *82*. 104147. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2022.104147

Hou, B., Wang, F., Liu, T., & Wang, Z. (2021). Reproductive toxicity of polystyrene microplastics: In vivo experimental study on testicular toxicity in mice. *Journal of Hazardous Materials*, *405*, 124028. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124028

Hou, J., Lei, Z., Cui, L., Hou, Y., Yang, L., An, R., ... & Zhang, L. (2021). Polystyrene microplastics lead to pyroptosis and apoptosis of ovarian granulosa cells via NLRP3/Caspase-1 signaling pathway in rats. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *212*, 112012. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112012

Hwang, J., Choi, D., Han, S., Choi, J., & Hong, J. (2019). An assessment of the toxicity of polypropylene microplastics in human derived cells. *Science of the Total Environment*, *684*, 657-669. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.071

Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific Reports*, *7*(1), 8620. https://doi.org/10.1038/s41598-017-09128-x

Jenner, L. C., Rotchell, J. M., Bennett, R. T., Cowen, M., Tentzeris, V., & Sadofsky, L. R. (2022). Detection of microplastics in human lung tissue using μFTIR spectroscopy. *Science of the Total Environment*, *831*, 154907. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907

Jin, H., Ma, T., Sha, X., Liu, Z., Zhou, Y., Meng, X., ... & Ding, J. (2021). Polystyrene microplastics induced male reproductive toxicity in mice. *Journal of Hazardous Materials*, *401*, 123430. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123430

Jinhui, S., Sudong, X., Yan, N., Xia, P., Jiahao, Q., & Yongjian, X. (2019). Effects of microplastics and attached heavy metals on growth, immunity, and heavy metal accumulation in the yellow seahorse, Hippocampus kuda Bleeker. *Marine Pollution Bulletin*, *149*, 110510. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110510

Kannan, K., & Vimalkumar, K. (2021). A review of human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Frontiers in Endocrinology*, *12*, 724989. https://doi.org/10.3389/fendo.2021.724989

Kılıç, E., Yücel, N., & Şahutoğlu, S. M. (2022). First record of microplastic occurence at the commercial fish from Orontes River. *Environmental Pollution*, *307*, 119576. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119576

Kim, J., Maruthupandy, M., An, K. S., Lee, K. H., Jeon, S., Kim, J. S., & Cho, W. S. (2021). Acute and subacute repeated oral toxicity study of fragmented microplastics in Sprague-Dawley rats. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *228*, 112964. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112964

Kirstein, I. V., Kirmizi, S., Wichels, A., Garin-Fernandez, A., Erler, R., Löder, M., & Gerdts, G. (2016). Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles. *Marine Environmental Research*, *120*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.07.004

Kontrick, A. V. (2018). Microplastics and human health: Our great future to think about now. *Journal of Medical Toxicology*, *14*(2), 117-119. https://doi.org/10.1007/s13181-018-0661-9

Kor, K., & Mehdinia, A. (2020). Neustonic microplastic pollution in the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, *150*, 110665. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110665

Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., & Shruti, V. C. (2020). Branded milks - Are they immune from microplastics contamination?. *Science of the Total Environment*, *714*, 136823. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136823

Lai, K. P., Tsang, C. F., Li, L., Yu, R. M. K., & Kong, R. Y. C. (2022). Microplastics act as a carrier for wastewater-borne pathogenic bacteria in sewage. *Chemosphere*, *301*, 134692. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136823

Lassen, C., Hansen, S. F., Magnusson, K., Hartmann, N. B., Jensen, P. R., Nielsen, T. G., & Brinch, A. (2015). Microplastics: occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. Environmental Protection Agency. http://www.eng.mst.dk/

Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A., & Rothen-Rutishauser, B. (2019). Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health. *Environmental Science & Technology*, *53*(4), 1748-1765. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05512

Leslie, H. A., Van Velzen, M. J., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, *163*, 107199. https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199

Li, H., Luo, Q., Zhao, S., Zhao, P., Yang, X., Huang, Q., & Su, J. (2022). Watershed urbanization enhances the enrichment of pathogenic bacteria and antibiotic resistance genes on microplastics in the water environment. *Environmental Pollution*, *313*, 120185. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120185

Li, Q., Yuan, M., Chen, Y., Jin, X., Shangguan, J., Cui, J., ... & Wang, Y. (2023). The neglected potential source of microplastics from daily necessities: A study on protective mobile phone cases. *Journal of Hazardous Materials*, *441*, 129911. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129911

Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., & Song, M. (2023). Potential health impact of microplastics: a review of environmental distribution, human exposure, and toxic effects. *Environment & Health*, *1*(4), 249-257. https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052

Lin, Y. D., Huang, P. H., Chen, Y. W., Hsieh, C. W., Tain, Y. L., Lee, B. H., ... & Shih, M. K. (2023). Sources, degradation, ingestion and effects of microplastics on humans: a review. *Toxics*, *11*(9), 747. https://doi.org/10.3390/toxics11090747

Lithner, D., Larsson, Å., & Dave, G. (2011). Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total Environment*, *409*(18), 3309-3324. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.038

Liu, K., Wang, X., Fang, T., Xu, P., Zhu, L., & Li, D. (2019a). Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. *Science of the Total Environment*, *675*, 462-471. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.110

Liu, K., Wu, T., Wang, X., Song, Z., Zong, C., Wei, N., & Li, D. (2019b). Consistent transport of terrestrial microplastics to the ocean through atmosphere. *Environmental Science & Technology*, *53*(18), 10612-10619. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03427

Liu, S., Guo, J., Liu, X., Yang, R., Wang, H., Sun, Y., ... & Dong, R. (2023). Detection of various microplastics in placentas, meconium, infant feces, breastmilk and infant formula: A pilot prospective study. *Science of the Total Environment*, *854*, 158699. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158699

Makhdoumi, P., Amin, A. A., Karimi, H., Pirsaheb, M., Kim, H., & Hossini, H. (2021). Occurrence of microplastic particles in the most popular Iranian bottled mineral water brands and an assessment of human exposure. *Journal of Water Process Engineering*, *39*, 101708. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101708

Makhdoumi, P., Pirsaheb, M., Amin, A. A., Kianpour, S., & Hossini, H. (2023). Microplastic pollution in table salt and sugar: Occurrence, qualification and quantification and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, *119*, 105261. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105261

Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic polymer contamination in bottled water. *Frontiers in Chemistry*, *6*, 389699. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407

Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., & Kaminuma, T. (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science & Technology*, *35*(2), 318-324. https://doi.org/10.1021/es0010498

Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Löder, M. G., Primpke, S., & Gerdts, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research*, *108*, 365-372. https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015

Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E., Liu, R., Olewine, M., Kingston, J. D., ... & Campen, M. J. (2025). Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nature Medicine*, *31*(4), 1114-1119. https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1

Oleksiuk, K., Krupa-Kotara, K., Grajek, M., Wypych-Ślusarska, A., Głogowska-Ligus, J., & Słowiński, J. (2023). Health risks of environmental exposure to microplastics. *Journal of Education, Health and Sport, 13*(1), 79-84. https://doi.org/10.12775/JEHS.2023.13.01.012

Oßmann, B. E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S. H., & Dicke, W. (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research*, *141*, 307-316. https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.027

Özsoy, S., Gündogdu, S., Sezigen, S., Tasalp, E., Ikiz, D. A., & Kideys, A. E. (2024). Presence of microplastics in human stomachs. *Forensic Science International*, *364*, 112246. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112246

Paget, V., Dekali, S., Kortulewski, T., Grall, R., Gamez, C., Blazy, K., ... & Lacroix, G. (2015). Specific uptake and genotoxicity induced by polystyrene nanobeads with distinct surface chemistry on human lung epithelial cells and macrophages. *PloS one*, *10*(4), e0123297. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123297

Patil, P. B., Maity, S., & Sarkar, A. (2022). Potential human health risk assessment of microplastic exposure: current scenario and future perspectives. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(12), 898. https://doi.org/10.1007/s10661-022-10539-1

Pauly, J. L., Stegmeier, S. J., Allaart, H. A., Cheney, R. T., Zhang, P. J., Mayer, A. G., & Streck, R. J. (1998). Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention: A Publication of the American Association for Cancer Research, Cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, *7*(5), 419-428.

Persiani, E., Cecchettini, A., Ceccherini, E., Gisone, I., Morales, M. A., & Vozzi, F. (2023). Microplastics: a matter of the heart (and vascular system). *Biomedicines*, *11*(2), 264. https://doi.org/10.3390/biomedicines11020264

Pironti, C., Notarstefano, V., Ricciardi, M., Motta, O., Giorgini, E., & Montano, L. (2022). First evidence of microplastics in human urine, a preliminary study of intake in the human body. *Toxics*, *11*(1), 40. https://doi.org/10.3390/toxics11010040

Plastic Europe. (2024). Available online: https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2024/

Powell, J. J., Faria, N., Thomas-McKay, E., & Pele, L. C. (2010). Origin and fate of dietary nanoparticles and microparticles in the gastrointestinal tract. *Journal of Autoimmunity*, *34*(3), J226-J233. https://doi.org/10.1016/j.jaut.2009.11.006

Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: consequences to human health?. *Environmental Pollution*, *234*, 115-126. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043

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. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455

Praveena, S. M., Ariffin, N. I. S., & Nafisyah, A. L. (2022). Microplastics in Malaysian bottled water brands: Occurrence and potential human exposure. *Environmental Pollution*, *315*, 120494. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120494

Qiao, R., Deng, Y., Zhang, S., Wolosker, M. B., Zhu, Q., Ren, H., & Zhang, Y. (2019). Accumulation of different shapes of microplastics initiates intestinal injury and gut microbiota dysbiosis in the gut of zebrafish. *Chemosphere*, *236*, 124334. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.07.065

Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., ... & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, *146*, 106274. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274

Rahman, A., Sarkar, A., Yadav, O. P., Achari, G., & Slobodnik, J. (2021). Potential human health risks due to environmental exposure to nano-and microplastics and knowledge gaps: A scoping review. *Science of the Total Environment*, *757*, 143872. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143872

Revel, M., Châtel, A., & Mouneyrac, C. (2018). Micro (nano) plastics: a threat to human health?. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *1*, 17-23. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.003

Rezaei, M., Riksen, M. J., Sirjani, E., Sameni, A., & Geissen, V. (2019). Wind erosion as a driver for transport of light density microplastics. *Science of the Total Environment*, *669*, 273-281. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.382

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), 14340. https://doi.org/10.1038/srep14340

Santos, M. dos., Soares, M. C. F., Baisch, P. R. M., Baisch, A. L. M., & da Silva Júnior, F. M. R. (2018). Biomonitoring of trace elements in urine samples of children from a coal-mining region. *Chemosphere*, *197*, 622-626. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.01.082

Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B. (2019). Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Annals of Internal Medicine*, *171*(7), 453-457. https://doi.org/10.7326/M19-0618

Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H. U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, *129*, 154-162. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011

Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, *5*(3), 375-386. https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z

Sripada, K., Wierzbicka, A., Abass, K., Grimalt, J. O., Erbe, A., Röllin, H. B., ... & Wagner, M. (2022). A children's health perspective on nano-and microplastics. *Environmental Health Perspectives*, *130*(1), 015001. https://doi.org/10.1289/EHP9086

Sun, A., & Wang, W. X. (2023). Human exposure to microplastics and its associated health risks. *Environment & Health*, *1*(3), 139-149. https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00053

Surana, D., Gupta, J., Sharma, S., Kumar, S., & Ghosh, P. (2022). A review on advances in removal of endocrine disrupting compounds from aquatic matrices: Future perspectives on utilization of agri-waste based adsorbents. *Science of the Total Environment*, *826*, 154129. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154129

Tiwari, B. R., Lecka, J., Pulicharla, R., & Brar, S. K. (2023). Microplastic pollution and associated health hazards: Impact of COVID-19 pandemic. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *34*, 100480. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2023.100480

Warheit, D. B., Hart, G. A., Hesterberg, T. W., Collins, J. J., Dyer, W. M., Swaen, G. M. H., ... & Kennedy, G. L. (2001). Potential pulmonary effects of man-made organic fiber (MMOF) dusts. *Critical Reviews in Toxicology*, *31*(6), 697-736. https://doi.org/10.1080/20014091111965

Wee, S. Y., Aris, A. Z., Yusoff, F. M., Praveena, S. M., & Harun, R. (2022). Drinking water consumption and association between actual and perceived risks of endocrine disrupting compounds. *NPJ Clean Water*, *5*(1), 25. https://doi.org/10.1038/s41545-022-00176-z

WHO, Microplastics in Drinking-Water, 2019.

Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and human health: a micro issue?. *Environmental Science & Technology*, *51*(12), 6634-6647. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423

Wu, P., Lin, S., Cao, G., Wu, J., Jin, H., Wang, C., ... & Cai, Z. (2022). Absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity of microplastics in the human body and health implications. *Journal of Hazardous Materials*, *437*, 129361. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129361

Yang, Z., Wang, M., Feng, Z., Wang, Z., Lv, M., Chang, J., ... & Wang, C. (2023). Human microplastics exposure and potential health risks to target organs by different routes: A review. *Current Pollution Reports*, *9*(3), 468-485. https://doi.org/10.1007/s40726-023-00273-8

Yozukmaz, A. (2021). Investigation of microplastics in edible wild mussels from İzmir Bay (Aegean Sea, Western Turkey): A risk assessment for the consumers. *Marine Pollution Bulletin*, *171*, 112733. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112733

Yücel, N., & Kılıç, E. (2025). Occurrence and human exposure risk of microplastics in commercially important shrimp species from Northeastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, *214*, 117796. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117796

Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the "plastisphere": microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science & Technology*, *47*(13), 7137-7146. https://doi.org/10.1021/es401288x

Zhang, J., Wang, L., Trasande, L., & Kannan, K. (2021b). Occurrence of polyethylene terephthalate and polycarbonate microplastics in infant and adult feces. *Environmental Science & Technology Letters*, *8*(11), 989-994. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00559

Zhang, N., Li, Y. B., He, H. R., Zhang, J. F., & Ma, G. S. (2021a). You are what you eat: Microplastics in the feces of young men living in Beijing. *Science of the Total Environment*, *767*, 144345. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144345

Zhao, Q., Zhu, L., Weng, J., Jin, Z., Cao, Y., Jiang, H., & Zhang, Z. (2023a). Detection and characterization of microplastics in the human testis and semen. *Science of the Total Environment*, *877*, 162713. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162713

Zhao, Y., Liu, S., & Xu, H. (2023b). Effects of microplastic and engineered nanomaterials on inflammatory bowel disease: a review. *Chemosphere*, *326*, 138486. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138486

Zhu, L., Zhu, J., Zuo, R., Xu, Q., Qian, Y., & An, L. (2023). Identification of microplastics in human placenta using laser direct infrared spectroscopy. *Science of the Total Environment*, *856*, 159060. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159060