TFK

Journal of Medical Clinics
Tıp Fakültesi Klinikleri Dergisi

Kasım / November **2026**, **9 (3)**
Başvuru / Received: 17.06.2026
Kabul / Accepted: 23.07.2026

https://dergipark.org.tr/tr/pub/atk
https://tipfakultesiklinikleri.aydin.edu.tr

DERLEME **REVIEW**

Mikroplastik Maruziyeti ve Sistemik Sağlık Etkileri: Halk Sağlığı Perspektifinden Güncel Bir Değerlendirme

Berkhan Topaktaş
Amasya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Amasya, Türkiye

Özet

Plastik üretimi ve atık yönetimindeki küresel artış, makro boyuttaki plastiklerin çevresel etmenlerle parçalanarak mikroplastik ve nanoplastik formunda ekosisteme yayılmasına neden olmuştur. İlk kez 2004 yılında tanımlanan bu partiküller, günümüzde hava, su ve gıda zinciri aracılığıyla insan vücuduna nüfuz eden sistemik bir kirlilik yükü oluşturmaktadır. Bu geleneksel derleme, mikroplastiklerin kaynaklarını, insan maruziyet yollarını, biyolojik etkilerini ve Türkiye'ye özgü epidemiyolojik verileri halk sağlığı perspektifinden bütüncül biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Yapılan güncel araştırmalar, bu mikroskobik partiküllerin sadece çevresel bir atık olmadığını; kanda, plasentada, akciğer dokusunda ve hatta karotis arter plaklarında birikme potansiyeli olduğuna işaret etmektedir. Özellikle vasküler dokularda polietilen birikimi saptanan bireylerde kardiyovasküler olay riskinin önemli ölçüde artması, mikroplastiklerin klinik düzeydeki kronik etkilerine yönelik şüpheleri arttırmaktadır. Türkiye ölçeğinde gerçekleştirilen saha araştırmaları; sofra tuzlarından şişelenmiş sulara, deniz ürünlerinden metropollerdeki iç ortam hava kalitesine kadar geniş bir yelpazede polimer kontaminasyonu olduğunu ve yerel popülasyonun bu partiküller yönünden risk altında olduğunu doğrulamaktadır. Hücresel düzeyde mikroplastik maruziyeti; oksidatif stresin tetiklenmesi, bağırsak mikrobiyotasının dengesinin bozulması ve piroptotik hücre ölümü gibi karmaşık biyolojik süreçlerle ilişkilendirilmektedir. Mevcut verilerin büyük bir kısmı doğrudan nedensellik yerine ilişki gösteren bulgular sunsa da, mikroplastiklerin biyolojik bariyerleri aşma kapasitesi ve dokulardaki kalıcı varlığı kardiyovasküler hastalık, üreme sağlığı bozuklukları, nörolojik etkiler ve kanser riski dahil halk sağlığı için ciddi bir tehdit teşkil etmektedir. Bu bağlamda, maruziyet risklerinin minimize edilmesi için hem uluslararası yasal düzenlemelerin sıkılaştırılması hem de ileri düzey moleküler modeller kullanılarak uzun vadeli sağlık projeksiyonlarının yapılması büyük önem arz etmektedir.

***Anahtar kelimeler**: Mikroplastik, Nanoplastik, Halk sağlığı, Sağlık etkisi*

TFK, 2026; 9(3): 191-204.

*** Sorumlu Yazar / Corresponding Author.** E-mail (AU): berkhan@yandex.com. ORCID: 0000-0001-9363-1167
Copyright © Published by İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Microplastic Exposure and Systemic Health Effects: A Contemporary Assessment from a Public Health Perspective

Abstract

The global surge in plastic production and subsequent challenges in waste management have led to the fragmentation of macro-plastics by environmental factors, resulting in the widespread dispersal of microplastics and nanoplastics throughout the ecosystem. First identified in 2004, these particles now constitute a systemic pollutant load that penetrates the human body via air, water, and the food chain. This narrative review aims to comprehensively evaluate the sources of microplastics, human exposure pathways, biological effects, and epidemiological data specific to Türkiye from a public health perspective. Recent studies indicate that these microscopic particles are not merely environmental waste; they possess the potential to accumulate in blood, the placenta, lung tissue, and even carotid artery plaques. The significantly increased risk of cardiovascular events, particularly in individuals with documented polyethylene accumulation in vascular tissues, heightens concerns regarding the chronic clinical effects of microplastics. Field studies conducted in Türkiye confirm polymer contamination across a wide spectrum—ranging from table salts to bottled waters, marine products, and indoor air quality in metropolitan areas—thereby validating that the local population is at risk for these particles. At the cellular level, microplastic exposure is associated with complex biological processes, including the induction of oxidative stress, disruption of gut microbiota homeostasis (dysbiosis), and pyroptotic cell death. Although the vast majority of current data presents correlational findings rather than direct causality, the capacity of microplastics to breach biological barriers and their persistent presence in tissues pose a severe threat to public health, including risks of cardiovascular disease, reproductive disorders, neurological effects, and carcinogenesis. In this context, both the tightening of international legal frameworks and the development of long-term health projections using advanced molecular models are of paramount importance to minimize exposure risks.

Keywords*: Microplastic, Nanoplastic, Public health, Health effect*.

J Med Clin, 2026; 9(3): 191-204.

GİRİŞ

Plastikler, dayanıklılıkları, hafiflikleri ve düşük maliyetli üretim imkanları nedeniyle modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Ancak bu avantajlar, beraberinde küresel ölçekte devasa bir çevresel kirlilik yükü getirmiştir. İnsanlığın plastikle ilişkisi, 20. yüzyılın ortasında başlayan, bugün çevresel ve biyolojik sonuçları yeni yeni kavranmaya başlanan köklü bir dönüşümü temsil etmektedir. 1950'li yıllardan bu yana üretilen yaklaşık 8,3 milyar ton plastiğin büyük bir kısmının atık yönetimi süreçlerine dahil edilemeyerek doğaya terk edildiği tahmin edilmektedir (1). Doğaya salınan bu makro boyuttaki plastik atıklar; güneş ışığı (fotodegradasyon), mekanik aşınma ve dalga hareketleri gibi fiziksel etkilerle parçalanarak mikroplastik olarak adlandırılan küçük partiküllere dönüşmektedir (2).

"Mikroplastik" terimi bilim literatürüne, deniz biyoloğu Prof. Richard C. Thompson ve ekibinin 7 Mayıs 2004'te Science dergisinde yayımladığı "Lost at Sea: Where Is All the Plastic?" başlıklı çalışmayla girmiştir. Thompson ve ark., İngiltere kıyı ortamlarında saptadıkları yaklaşık 20 µm çapındaki mikroskobik plastik parçacıklarını tanımlamak için bu terimi ilk kez kullanmış ve söz konusu parçalanmanın deniz ekosistemleri ile potansiyel olarak gıda zinciri üzerindeki sonuçlarını sorgulamıştır (2). Frias ve Nash, 2019 yılında yayınladıkları ve kapsamlı bir tanım önerdikleri çalışmalarında mikroplastikleri şu şekilde tanımlamışlardır: "Birincil ya da ikincil üretim kökenli, boyutları 1 µm ile 5 mm arasında değişen, suda çözünmeyen, düzenli ya da düzensiz şekilli sentetik katı partiküller veya polimerik matriksler." Bu tanım; yalnızca boyut sınırına değil, aynı zamanda fiziksel ve kimyasal özelliklere de odaklanması ve ikincil üretim kökenini açıkça kapsaması nedeniyle literatürde geniş kabul görmektedir (3). Nanoplastiklerin tanımlanması ise mikroplastiklere kıyasla daha sonraları gündeme gelmiştir. Gigault ve ark., 2018 yılında yayınladıkları ve "Current opinion: What is a nanoplastic?" başlığını taşıyan çalışmada nanoplastikleri şöyle tanımlamıştır: "Plastik

nesnelerin degradasyonu ve üretim süreçleri sonucunda kasıtsız biçimde oluşan, boyutları 1 nm ile 1.000 nm (1 µm) arasında değişen ve kolloidal davranış sergileyen partiküller" (3). Bu tanım, iki kritik özelliği vurgulamaktadır: Nanoplastiklerin üretim süreçlerinde kasıtlı olarak imal edilmiş nanomateryallerden (örneğin kozmetik ürünlerdeki tasarım amaçlı nanopartiküller) ayrışması ve kolloidal davranışın ön plana çıkması. Boyut spektrumu açısından değerlendirildiğinde, plastik kirleticiler makroplastiklerden (>5 mm) büyük mikroplastiklere (1–5 mm), küçük mikroplastiklere (1 µm–1 mm) ve nanoplastiklere (<1 µm) uzanan bir sıralanışa sahiptir (4). 10 µm'nin altındaki partiküller bronşiyollere kadar ulaşabilirken, 2,5 µm'nin altındakiler alveolar yapılara penetre olabilmekte, <1 µm boyutundaki nanoplastikler ise kan-beyin bariyerini, plasental bariyeri ve hücre çekirdeğini geçme kapasitesi taşımaktadır (5). Dolayısıyla boyutun küçülmesi, yalnızca parçacık sayısını arttırmakla kalmamakta, biyolojik tehdit profilinin niteliğini de değiştirmektedir.

Şekil boyutlarına ek olarak morfolojik sınıflandırma da önem taşımaktadır. Çevresel örneklerde en sık karşılaşılan şekiller; tekstil ürünlerinden kaynaklanan lifler, makroplastiklerin mekanik kırılmasıyla oluşan parçacıklar, kozmetik ve endüstriyel ürünlerde kullanılan mikroboncuklar ve ambalaj filmlerinden türeyen filmlerdir. Bu morfolojik farklılıkların da toksik etki profilini etkileyebildiği, özellikle lifsel partiküllerin akciğerlerde uzun vadeli birikime yol açtığı bildirilmektedir (3). Halk sağlığı bağlamında temel endişe kaynağı, bu partiküllerin dokularda birikerek kronik inflamasyonu tetiklemesi ve içerdikleri endokrin bozucu kimyasallar aracılığıyla metabolik süreçleri bozma potansiyelidir (6). Türkiye özelinde ise üç tarafı denizlerle çevrili olması, yoğun sanayileşme ve plastik geri dönüşüm süreçlerindeki dinamikler, bölgedeki mikroplastik yükünü ve buna bağlı halk sağlığı risklerini incelemeyi zorunlu kılmaktadır. Bu derleme, mikroplastiklerin kaynaklarını, insan maruziyet yollarını, biyolojik etkilerini ve Türkiye'deki güncel durumu sentezleyerek halk sağlığı politikaları için bilimsel bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

Derleme Metodolojisi

Bu çalışma, sistematik bir protokol uygulanmaksızın kapsayıcı bir literatür taramasına dayanan geleneksel (anlatısal) bir derlemedir. Literatür taraması PubMed/MEDLINE, Web of Science, Scopus ve Google Scholar veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tarama herhangi bir zaman aralığı seçilmeksizin İngilizce ve Türkçe yayımlanmış çalışmaları kapsamakta ancak özellikle son beş yıl içinde yayımlanan güncel çalışmalara öncelik verilmiştir.

Arama sürecinde kullanılan başlıca anahtar kelimeler şunlardır: “microplastic, nanoplastic, human health, public health, toxicity, exposure, cardiovascular, neurological, reproductive, gastrointestinal, respiratory, Turkey”. Anahtar kelimeler hem tekil hem de Boolean operatörleriyle (AND, OR) kombinasyon halinde kullanılmıştır. Dahil etme kriterleri; özgün araştırma makaleleri, sistematik derlemeler, meta-analizler, geleneksel derlemeler ve ilgili kurumsal raporlar olarak belirlenmiştir. Yalnızca özet düzeyinde sunulan çalışmalar, tam metne ulaşılamayan yayınlar ve metodolojik kalitesi yetersiz bulunan çalışmalar kapsam dışı bırakılmıştır. Türkiye'ye özgü veriler için ek hedefli tarama yapılmıştır. Dahil edilen çalışmalar kanıt düzeyi, örneklem büyüklüğü ve metodolojik tasarım açısından değerlendirilerek metin içinde uygun şekilde nitelendirilmiştir.

Mikroplastik Türleri

Mikroplastikler, ekosisteme giriş yolları ve oluşum süreçlerine göre birincil ve ikincil olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılmaktadır (7). Bu ayrım, sadece kirliliğin kaynağını anlamak için değil, aynı zamanda halk sağlığını korumaya yönelik geliştirilecek önleyici politikaların belirlenmesi açısından da kritiktir.

Birincil Mikroplastikler

Birincil mikroplastikler, belirli bir kullanım amacı doğrultusunda doğrudan mikroskobik boyutlarda üretilen partiküllerdir. Bunların başında diş macunları, yüz temizleme jelleri, peeling ürünleri gibi kişisel bakım ve kozmetik ürünlerinde aşındırıcı olarak kullanılan mikro boncuklar gelmektedir (8). Ayrıca, plastik üretiminde hammadde olarak kullanılan peletler

ve endüstriyel kumlama işlemlerinde kullanılan aşındırıcılar da bu grupta yer alır. Bu partiküller, kullanım sonrası evsel atık sular ve kanalizasyon sistemleri aracılığıyla alıcı su ortamlarına doğrudan deşarj edilmektedir (9).

İkincil Mikroplastikler

İkincil mikroplastikler, doğaya terk edilen poşetler, şişeler, balık ağları, ambalaj malzemeleri gibi makro boyuttaki plastik atıkların çeşitli çevresel faktörlerle parçalanması sonucu oluşur. UV radyasyonu kaynaklı fotodegradasyon, mekanik aşınma ve sıcaklık değişimleri, polimer yapının kırılganlaşmasına ve milyarlarca küçük parçacığa ayrılmasına neden olur (10). Okyanuslardaki plastiğin yalnızca %15–31'i birincil kaynaklıdır, geri kalanı da (%69–85'i) ikincil mikroplastiklerden oluşmaktadır (8).

Kimyasal Özellikler ve Toksikolojik Profiller

Küresel plastik talebinin beşte üçünden fazlası beş temel polimer tarafından oluşturulmaktadır: Polipropilen (PP, %19,3), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE, %14,4), polivinil klorür (PVC, %12,9), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE, %12,5) ve polietilen tereftalat (PET, %6,2) (11). Bu polimerlerin aşınma, fotodegradasyona uğrama ve mekanik parçalanma kapasiteleri, çevrede oluşturdukları mikroplastik yükünü ve dolayısıyla insan maruziyetini doğrudan belirlemektedir. Polietilen (PE), küresel plastik pazarının yaklaşık %30'unu oluşturarak en fazla üretilen polimer konumundadır (12). Karotis plak içinde en sık saptanan polimer olması; kan, plasenta, beyin ve akciğer gibi kritik biyolojik organlarda tespit edilmesi, bu polimerin insan sağlığı araştırmaları açısından önemini arttırmaktadır (13). PE'nin görece kimyasal inertliği, sağlık risklerinin büyük bölümünün katkı maddesi sızıntısından değil, partikülün fiziksel varlığından ve "Truva Atı" mekanizmasıyla adsorbe ettiği kirleticilerden kaynaklandığına işaret etmektedir. Polistiren (PS), laboratuvar araştırmalarında en çok kullanılan model polimerdir. Bağırsak mikrobiyota disbiozisi, nörotoksisite ve oksidatif stres çalışmalarındaki dominant polimer olma özelliğini korumaktadır. PS'nin monomeri olan stiren, Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından insanlardaki epidemiyolojik çalışmalardan elde edilen sınırlı kanıt ve hayvan deneylerindeki yeterli kanıt temelinde Grup 2A olarak sınıflandırılmıştır (14).

Farklı polimerlerin karşılaştırılması amacıyla geliştirilen bir tehlike sıralama modelinde kategoriler beş tehlike düzeyine (I-V) ayrılmış ve PVC'nin, 55 polimer türü arasında risk sıralamasında en yüksek puana sahip olanlardan biri olduğu görülmüştür (15). PVC'nin üretim sürecinde plastikleştirici olarak kullanılan fitalatlar (özellikle Di-2-etilheksil fitala-DEHP), polimer matriksine kimyasal olarak bağlı olmadığından zamanla sızıntı yapabilmektedir. DEHP ve diğer fitalatlar, AB Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, İzni ve Kısıtlanması Yönetmeliği (REACH) kapsamında üreme toksisitesi ve endokrin bozucu etkileri nedeniyle kısıtlamaya tabi maddeler arasında yer almakta ve erkek-kadın üreme sistemleri, tiroid fonksiyonu ile erken gelişim üzerine olumsuz etkileri resmi olarak ifade edilmiş durumdadır (16). Polietilen tereftalat (PET), şişe suyu ve tek kullanımlık ambalajların birincil hammaddesidir. Türkiye'deki şişelenmiş su araştırmalarında da en sık saptanan polimerler arasında yer almaktadır (17). Yüksek sıcaklık ve mekanik stres koşullarında PET şişelerinden antimon ve asetaldehit gibi kimyasalların salındığı bilinmekte olup bu maddelerin uzun süreli maruziyette sağlık riskleri tartışılmaktadır. PP, genel toksik profili açısından PE ve PVC'ye kıyasla görece daha güvenli sayılmaktadır. Bununla birlikte PP nanoplastiklerinin akciğer inflamasyonunu p38-aracılı NF-κB yolağı üzerinden tetiklediği hayvanlarda hem in vivo, hem de hem in vitro olarak solunum toksikolojisi çalışmalarında gösterilmiştir (18).

Polikarbonat (PC) ve nanoplastikler ise özel dikkat gerektiren iki ek kategoridir. PC'nin yapısal monomeri olan bisfenol A (BPA), östrojen ve androjen reseptörlerine bağlanabilen, tiroid hormon fonksiyonunu da bozabilen güçlü bir endokrin bozucudur. Nanoplastikler ise boyutlarının küçüklüğü nedeniyle büyük mikroplastiklerden niteliksel olarak farklı bir risk profili sunmaktadır. Kan-beyin bariyerini, intestinal epiteli ve plasental bariyeri geçebilmeleri, hücre çekirdeğine kadar nüfuz edebilmeleri ve gen ekspresyonunu doğrudan etkileyebilmeleri nedeniyle farklı bir tehdit boyutu oluşturmakta-

dırlar (19) (Tablo 1). Tüm bu polimerler, sağlık etkilerini yalnızca kendi fiziksel varlıklarıyla değil, bünyelerinde bulunan katkı maddeleri (fitalatlar, BPA, alev geciktiriciler, ağır metal bazlı pigmentler) ve çevreden absorbe ettikleri ikincil kirleticiler aracılığıyla da ortaya çıkarmaktadır. Bu çok katmanlı kimyasal yük, bireysel polimer analizinin ötesinde bütüncül bir risk değerlendirmesini zorunlu kılmaktadır.

Tablo 1. İnsan Sağlığı Açısından Öne Çıkan Başlıca Mikroplastik Türlerinin Özellikleri

Polimer	**Küresel üretim payı (yaklaşık)**	**Başlıca kullanım alanları**	**Başlıca katkı maddeleri / ilişkili kimyasallar**	**Öngörülen sağlık etkileri**
Polietilen	~%27	Ambalaj, plastik torba, şişe, tarım filmi, boru	Antagonistler, antioksidanlar	Kardiyovasküler hastalık, oksidatif stres, DNA hasarı, Truva Atı mekanizması
Polipropilen	~%20	Gıda ambalajı, otomotiv parçaları, tıbbi ürünler, tekstil	Stabilizatörler, UV koruyucular	Akciğer inflamasyonu (NF-κB/ p38 yolağı), gastrointestinal hasar
Polivinil klorür	~%13	Boru, kablo, tıbbi cihaz, zemin kaplaması, ambalaj	Fitalatlar (DEHP, DBP), kurşun, kadmiyum stabilizatörler	Endokrin bozulma, üreme toksisitesi, karaciğer hasarı, olası karsinojenite (VCM monomeri)
Polistiren	~%7	Tek kullanımlık bardak/kap, köpük ambalaj, elektronik	Stiren (IARC Grup 2A kanserojen)	Nörotoksisite, bağırsak disbiozisi, oksidatif stres, bilişsel bozulma, Alzheimer/Parkinson patolojileriyle deneysel ilişki (hayvan ve hücre modelleri); insan kanıtı yetersiz
Polietilen tereftalat	~%6	Su şişesi, tekstil (polyester), gıda ambalajı	Antimon (Sb_2O_2), asetaldehit, fitalatlar	Karaciğer toksisitesi, glukoz metabolizması bozukluğu, akciğerde granülomatöz inflamasyon
Poliamid	~%4	Tekstil, balıkçılık ağları, otomotiv	Boya maddeleri	Oksidatif stres, immün aktivasyon,
Polikarbonat	Az	Su şişesi (kullanımı azalmakta), elektronik, otomotiv	Bisfenol A (BPA)	Endokrin bozulma (östrojen/ androjen taklidi), üreme bozukluğu, nörogelişimsel etkiler, metabolik sendrom
Nanoplastikler	İkincil parçalanma ürünü	Tüm polimer türlerinin degradasyon ürünü	Polimere bağlı tüm katkı maddeleri	Kan-beyin bariyeri hasarı, hücre içi nükleer penetrasyon, epigenetik değişim, nöroinflamasyon, en yüksek biyolojik tehdit potansiyeli

İnsan Maruziyet Yolları

Mikroplastiklerin insan vücuduna girişi; su, hava, toprak gibi çevresel ortamlardan kontaminasyon sonucu gıda zinciri, solunum ve doğrudan temas kanallarıyla gerçekleşmektedir. Güncel literatür, bir bireyin yılda ortalama 39.000 ila 52.000 arasında mikroplastik partikülüne yalnızca gıdalar ve su aracılığıyla maruz kaldığını, inhalasyon yolu da eklendiğinde bu sayının 74.000'i aşabileceğini öngörmektedir (20).

Gastrointestinal Yol

Gastrointestinal maruziyet, en yaygın ve en çok araştırılan maruziyet yoludur. Deniz ürünleri bu konuda ilk sırada yer almaktadır. Özellikle midye ve istiridye gibi bütün olarak tüketilen çift kabuklu yumuşakçaların, süzerek beslenme mekanizmaları nedeniyle yüksek oranda mikroplastik biriktirdiği kanıtlanmıştır (21). Ancak maruziyet deniz ürünleriyle sınırlı değildir. Sofra tuzları, şeker, bal ve hatta bira gibi işlenmiş ürünlerde de mikroplastik varlığı rapor edilmiştir (22). İçme suları, özellikle de plastik şişelerde sunulan sular, önemli bir maruziyet kaynağıdır. Şişeleme süreci ve kapak açma-kapama sırasındaki sürtünme, suya polimer partiküllerinin salınmasına neden olmaktadır. Yapılan kapsamlı bir analizde, şişelenmiş suların musluk sularına oranla yaklaşık iki kat daha fazla mikroplastik içerdiği saptanmıştır (23). Ayrıca tek bir plastik çay poşetinin demleme sıcaklığında (95 °C) bekletilmesinin, tek bir fincana yaklaşık 11,6 milyar mikroplastik ve 3,1 milyar nanoplastik salınımı yapabildiği gösterilmiştir (24).

Solunum Yolu

Halk sağlığı açısından gıda kadar kritik, ancak daha az görünür olan yol inhalasyondur. Atmosferik mikroplastikler, özellikle kentsel alanlarda ve iç ortamlarda yoğunlaşmaktadır. İç ortamlardaki mikroplastik yoğunluğunun, dış ortama göre belirgin şekilde yüksek olduğu, bunun temel kaynağının sentetik tekstil lifleri ve ev tozları olduğu gösterilmiştir (25). Havadaki mikroplastiklerin solunabilir boyutta (özellikle <10 μm) olması, bu partiküllerin derin akciğer dokusuna ulaşarak inflamatuar yanıtları tetikleme olasılığını artırmaktadır.

Dermal Maruziyet

Dermal maruziyetin sistemik etkisi, gıda ve solunuma göre daha sınırlı kabul edilse de özellikle nanoplastiklerin ve çok küçük mikroplastiklerin deri bariyeriyle etkileşime girebileceğine dair kanıtlar literatürde tartışılmaktadır. Kişisel bakım ürünlerinde kullanılan polimer bazlı mikro tanecikler ve sentetik tekstil ürünleriyle sürekli temas, deri yüzeyinde partikül birikimine yol açabilmektedir. Güncel çalışmalar, sağlam bir deri bariyerinin bu partiküllerin geçişine büyük oranda direnç gösterdiğini, ancak bariyer fonksiyonu bozulmuş (örneğin yaralanma veya dermatit durumlarında) deriden nanopartikül düzeyindeki plastiklerin penetre olma potansiyeli taşıdığını vurgulamaktadır (26).

Türkiye'deki Saha ve Laboratuvar Çalışmaları

Türkiye, Akdeniz havzasındaki stratejik konumu, yoğun kıyı nüfusu ve plastik endüstrisindeki yeri nedeniyle mikroplastik kirliliği araştırmalarında kritik bir odak noktasıdır. Son on yılda yapılan ulusal çalışmalar, kirliliğin boyutlarını ve halk sağlığı üzerindeki potansiyel risklerini somut verilerle ortaya koymaktadır.

Deniz ve Tatlı Su Kaynakları Araştırmaları

Türkiye kıyı şeridinde yapılan sistematik incelemeler, özellikle Doğu Akdeniz kıyılarının (Mersin ve İskenderun Körfezleri) plastik kirliliği açısından küresel bir sıcak nokta olduğunu doğrulamaktadır. Yapılan bir çalışmada, bu bölgedeki yüzey sularında mikroplastik yoğunluğunun yüksek değerlere ulaştığı saptanmıştır. Mayıs 2018 için ortalama pelet sayısı 126,0±54,1 adet/m^2, Kasım 2018 için ise 70,2±18,2 adet/m^2 olarak ölçülerek, kıyı bölgesindeki pelet konsantrasyonlarının çoğunlukla rüzgar kaynaklı taşınmayla ilişkili olduğu belirlenmiştir (27). Marmara denizi ile ilgili olarak, İstanbul Boğazı ve güney kıyı sularında yüzey suyu çalışmaları yapılmış olsa da, kuzey kıyı sularındaki araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Sediment örneklerinde en yüksek mikroplastik konsantrasyonunun kıyı ve sığ su istasyonlarında bulunduğu ve baskın olan polimerlerin polipropilen, polietilen, polistiren, polifenilen sülfür ve akrilonitril bütadien stiren olduğu tespit edilmiştir (28).

İçme Suyu ve Gıda Analizleri

İnsan maruziyetinin en doğrudan yolu olan gıda zinciri üzerine Türkiye'de kapsamlı veriler üretilmiştir. Gündoğdu tarafından yapılan çalışmada Türkiye piyasasından 16 sofra tuzu markası temin edilmiş ve bunların MP içerikleri mikroskobik ve Raman spektroskopik incelemelerle belirlenmiştir (29). İlgili çalışmanın sonuçlarına göre, mikroplastik parçacık içeriğinin deniz tuzunda 16–84 adet/kg, göl tuzunda 8–102 adet/kg ve kaya tuzunda 9–16 adet/kg olduğu bildirilmiş ve en yaygın plastik polimerlerin PE (%22,9) ve PP (%19,2) olduğu bulunmuştur. Su tüketimi bağlamında; Türkiye'deki şişelenmiş doğal kaynak suyu ve maden suyu markalarına ait 150 örnekte mikroplastiklerin varlığı ve dağılımı 2023 yılında Altunışık tarafından araştırılmış, bu markaların %86'sında mikroplastikler tespit edilmiştir (17). Tespit edilen dört polimer türü arasında en bol bulunan türün PE (%33), ardından PP (%31), PET (%25) ve poliamid (%11) olduğu belirlenmiştir. Doğal sulara kıyasla, mineral sularda ortalama partikül boyutunun daha büyük (63,9±4,0 vs 104,8±14,2 µm) ve mikroplastik konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu (4,6±0,5 vs 12,6±1,6 partikül/L); doğal sularda en baskın şeklin lif, mineral sularda ise parçacıkların daha yaygın olduğu tespit edilmiştir (17).

Atık Su Arıtma Tesisleri ve Mühendislik Boyutu

Türkiye'deki kentsel atık su arıtma tesisleri, mikroplastiklerin çevreye girişindeki en önemli "eşik" noktalarıdır. Mersin Körfezi'ndeki üç atık su arıtma tesisinden gelen ve giden su deşarjları, 2017 yılı boyunca bir yıllık bir dönem boyunca aylık aralıklarla örneklenmiş, tüm atık su arıtma tesislerinden elde edilen veriler birleştirildiğinde, liflerin toplam mikroplastiklerin %69,7'sini oluşturduğu görülmüştür (30). Giriş sularında çıkış sularına kıyasla ortalama yaklaşık 2,5 kat daha yüksek mikroplastik konsantrasyonu bulunmuş, mikroplastiklerin %55-97'sini uzaklaştırma yeteneklerine rağmen, atıksu arıtma tesislerinin Kuzeydoğu Akdeniz için mikroplastiklerin ana kaynaklarından biri olduğunu göstermiştir. Bu tesislerin işlediği günlük devasa su hacmi göz önüne alındığında, arıtılmış suyla birlikte alıcı ortamlara deşarj edilen günlük partikül sayısı milyonlarla ifade edilmektedir.

Hava Kalitesi ve Atmosferik Çökelme

Türkiye'de atmosferik mikroplastik kirliliği üzerine literatür henüz gelişim aşamasında olsa da, İstanbul gibi yoğun nüfuslu şehirlerde yapılan ilk ölçümler halk sağlığı açısından uyarıcı niteliktedir. İstanbul'daki bir metro istasyonunun iç mekan havasında mikroplastiklerin potansiyel insan maruziyetini inceleyen bir çalışmada havada bulunan mikroplastikler, yoğun trafiğe sahip bir metro istasyonunda yedi gün boyunca sırasıyla pasif çökelme ve aktif hava örnekleme yöntemleri kullanılarak toplanmış, çökelme mikroplastik konsantrasyonları 278.571 ile 865.714 MP/m²/gün arasında değişmiş, havada bulunan mikroplastik konsantrasyonları ise 0,4 ile 2,93 MP/m³ arasında değişmiştir (31). Aynı çalışma, farklı yaş gruplarındaki yolcuların platformda 15 dakikalık bir bekleme süresi boyunca 0,24 ile 0,30 MP arasında mikroplastiğe solunum yoluyla maruz kalabileceğini göstermektedir. Mikroplastiklerin %70'inden fazlasının liflerden oluştuğu ve bunların ağırlıklı olarak PE (%25) ve PET (%21) içerdiği ortaya konmuştur. Havada bulunan mikroplastiklerin çoğunluğunun 100 µm'den küçük, çökelmiş mikroplastiklerin büyük çoğunluğunun 200-400 µm boyutlarında ölçüldüğü bildirilmiştir (31). Düzce ilinde, 2021 ve 2022 yıllarında kentsel ve kırsal alanlardaki atmosferik mikroplastikler araştırılmış, en yüksek ortalama toplam mikroplastik birikim akışları kış mevsiminde kaydedilmiş, mikroplastiklerin baskın türünün lifler (%84) olduğu ve çoğunlukla 0,5-1 mm boyut aralığında olduğu saptanmıştır (32) (Tablo 2).

Tablo 2. Türkiye'de Gerçekleştirilen Mikroplastik Çalışmalarının Özellikleri

Kaynak	Çalışma Türü	Örneklem Materyali	Yöntem	Temel Bulgular	Halk Sağlığı Açısından Önemi
Gündoğdu, 2018 (Kaynak 29)	Analitik çalışma	Sofra tuzu (deniz, göl, kaya)	Stereo mikroskop, FTIR spektroskopi	Tüm tuz türlerinde mikroplastik saptandı. Deniz tuzunda 16–84 adet/kg, göl tuzunda 8–102 adet/kg, kaya tuzunda 9–16 adet/kg. Baskın polimerler PE (%22,9) ve PP (%19,2).	Türkiye'de sofra tuzu başlıca günlük mikroplastik maruziyet kaynağı; kümülatif yıllık maruziyet tahmini gerektiriyor.
Altunışık, 2023 (Kaynak 17)	Analitik çalışma	Şişelenmiş doğal ve maden suyu (150 marka)	Stereo mikroskop, FTIR spektroskopi	Markaların %86'sında mikroplastik tespit edildi. Baskın polimerler: PE (%33), PP (%31), PET (%25), PA (%11). Mineral sularda ortalama partikül boyutu ve konsantrasyonu doğal sulara kıyasla daha yüksek (12,6±1,6 vs 4,6±0,5 partikül/L).	Şişelenmiş su tüketiminin yaygın olduğu Türkiye'de maruz kalım riski yüksek; ambalaj kaynaklı kontaminasyon olası.
Gündoğdu ve ark., 2022 Kaynak 27)	Saha çalışması (hidro-meteorolojik modelleme)	Yüzey suyu — Doğu Akdeniz (Mersin, İskenderun Körfezi)	Görsel sınıflandırma, plankton ağı örnekleme, rüzgar/akıntı modeli	Mayıs 2018: 126,0±54,1 adet/m², Kasım 2018: 70,2±18,2 adet/m² pelet konsantrasyonu. Kirliliğin ağırlıklı olarak rüzgar kaynaklı taşınımla ilişkili olduğu belirlendi.	Doğu Akdeniz'in küresel mikroplastik sıcak noktası olarak teyidi; bölge balıkçılığı ve turizmi açısından halk sağlığı riski.
Akarsu ve ark., 2025 (Kaynak 28)	Saha çalışması	Yüzey suyu ve sediment — Marmara Bölgesi	Görsel sınıflandırma, μ-FTIR / Raman spektroskopi	Sedimentte en yüksek konsantrasyon kıyı ve sığ su istasyonlarında. Baskın polimerler PP, PE, PS, PPS ve ABS.	İstanbul ve Marmara çevresindeki yoğun kentsel nüfus için kıyı ekosistemi riski; içme suyu kaynakları açısından izleme gerektiriyor.

Akarsu ve ark., 2020 (Kaynak 30)	Saha çalışması (izleme)	Atıksu — Mersin Körfezi'ndeki 3 AAYT giriş/çıkış suyu	Görsel sınıflandırma, Fourier transform kızılötesi spektroskopi	Tüm tesislerde giriş suyundaki konsantrasyon çıkış suyuna göre ~2,5 kat yüksek. Lifler toplam mikroplastiğin %69,7'si. Giderim verimliliği %55–97 olsa da tesisler Kuzeydoğu Akdeniz için önemli mikroplastik kaynağı olmaya devam ediyor.	Atıksu arıtma tesislerinin yetersiz giderim kapasitesi deniz ve kıyı ekosistemi kirlilik yükünü artırıyor; arıtma altyapısının güçlendirilmesi zorunlu.
Coşgun ve ark., 2025 (Kaynak 31)	Saha çalışması (iç mekan havası)	İç mekan havası — İstanbul metro istasyonu	Pasif çökelme + aktif hava örnekleme, FTIR spektroskopi	Çökelme: 278.571–865.714 MP/m²/gün. Havada askıdaki: 0,4–2,93 MP/m³. Baskın polimerler PE (%25) ve PET (%21); %70'ten fazlası lif. Farklı yaş gruplarında 15 dakika platformda bekleme sırasında 0,24–0,30 MP solunumsal maruziyet tahmini.	Milyonlarca günlük metro kullanıcısı için kronik solunum yolu maruziyeti riski; çocuklar ve yaşlılar öncelikli savunmasız grup.
Ertürk Arı ve ark., 2025 (Kaynak 32)	Saha çalışması (atmosferik)	Açık alan havası — Düzce ili (kentsel ve kırsal)	Pasif çökelme örnekleme, μ-FTIR spektroskopi	En yüksek birikim akışı kış mevsiminde gözlemlendi. Baskın form lifler (%84); çoğunlukla 0,5–1 mm boyut aralığında.	Kentsel ve kırsal alanlarda ölçülebilir atmosferik mikroplastik; Karadeniz bölgesi nüfusu için mevsimsel maruziyet dalgalanmaları halk sağlığı açısından izlenmeli.

AAYT: Atıksu Arıtma Tesisi; PE: Polietilen; PP: Polipropilen; PET: Polietilen tereftalat; PA: Poliamid; PS: Polistiren; PPS: Polifenilen sülfür; ABS: Akrilonitril bütadien stiren; FTIR: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi; MP: Mikroplastik

Sistem ve Organ Bazında Sağlık Etkileri

Kardiyovasküler sistem: Mikroplastiklerin kardiyovasküler sağlık üzerindeki etkileriyle ilgili olarak en önemli çalışmalardan birini Marfella ve ark. tarafından gerçekleştirilmiştir (13). Prospektif, çok merkezli gözlemsel çalışmada, asemptomatik karotis arter hastalığı nedeniyle karotis endarterektomi uygulanan 304 hasta dahil edilmiş, çıkarılan karotis plak örnekleri piroliz-gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi, kararlı izotop analizi ve elektron mikroskobu teknikleri kullanılarak mikroplastik ve nanoplastik varlığı açısından incelenmiştir. Hastaların %58,4'ünün plağında PE saptanmış olup bu gruptaki ortalama konsantrasyon plak düzeyinde 21,7±24,5 µg/mg ölçülmüştür. Plağında mikro ve nanoplastik (MNP) tespit edilen hastalar, yaklaşık 34 aylık izlem süresince miyokart enfarktüsü, inme veya herhangi bir nedenli ölümden oluşan sonlanım noktasına MNP saptanmayan hastalara kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha yüksek oranda ulaşmıştır. Çalışmada aynı zamanda plağında MNP saptanan grupta IL-18, IL-6 ve TNF-α gibi inflamasyon belirteçlerinin de anlamlı düzeyde yüksek olduğu gösterilmiştir (13). Vasküler sistemde MNP varlığını, inme riski ve ilerlemesiyle olan ilişkisini değerlendirmeyi amaçlayan bir sistematik derlemede, plaklarda MNP bulunmasının, majör kardiyovasküler olaylar ve ölüm riskinde 4,5 kat artışla ilişkili olduğu bildirilmiştir (33).

Sindirim sistemi ve bağırsak mikrobiyotası: Sindirim sistemi, mikroplastiklere maruziyetin başlıca giriş kapısı olmasının yanı sıra partikül birikimi ve fonksiyonel hasarın en erken ve en belgelenmiş biçimde gözlemlendiği organ sistemidir. Mevcut literatür, bu etkinin iki ayrı ama birbirini besleyen mekanizma üzerinden ilerlediğini ortaya koymaktadır: Doğrudan mukozal hasar ve bağırsak mikrobiyota disbiozisi. PS mikroplastiklerinin kısa süreli oral maruziyetinin fare modellerinde gastrointestinal motiliteyi bozduğu, intestinal bariyer işlevini zayıflattığı ve kolonik kript sayısını azaltarak mukozal yapısal değişikliklere yol açtığı gösterilmiştir. Uzun süreli maruziyet ise bağırsak geçirgenliğini arttırmakta, lipit metabolizmasını bozmakta ve kronik düşük dereceli inflamasyona zemin hazırlamaktadır (34). PE, PS, PET, PVC ve polilaktik asit (PLA) gibi yaygın polimer tiplerine maruziyet, bağırsak disbiozisini karakterize eden yararlı bakteri türlerinin kaybına ve patojen türlerin artışına yol açmaktadır. Söz konusu mikrobiyota değişikliği; kolon kanseri, irritabl bağırsak sendromu ve kolitle ilişkilendirilmiş olup, olumsuz etkilerin polimer tipine ve partikül boyutuna göre farklılık gösterdiği vurgulanmaktadır (35).

Solunum Sistemi: Akciğerler, aerosoller yoluyla mikroplastiğe maruz kalınan ana organ olmaları ve maruziyetin kronik niteliği nedeniyle solunum sağlığı açısından kritik bir önem taşımaktadır. Partikülün büyüklüğü, hangi anatomik bölgeye yerleşeceğini belirleyen temel faktördür: 10 µm'den büyük partiküller üst solunum yollarında tutunurken, 10 µm'den küçük olanlar bronşiyollere, 2,5 µm altındakiler ise alveollere kadar nüfuz edebilmektedir (5). Bu bağlamda önemli bir bulgu olarak, insan akciğer otopsilerinden elde edilen doku örneklerinde mikroplastik varlığı doğrulanmış; 20 dokunun 13'ünde polimerik partiküller saptanmış, başlıca polimer tipinin PE ve PP olduğu belirlenmiştir (36). Konuyla ilgili yapılan bir derlemede, in vivo ve in vitro çalışmaların MNP'lerin oksidatif stres, immün aktivasyon, epitelyal yeniden yapılanma ve sürfaktan interferansı aracılığıyla pulmoner homeostazı bozma kapasitesi taşıdığını ortaya koyduğu vurgulanmıştır (37). Aynı derlemede, tekstil fabrikaları gibi yüksek maruziyetli mesleki ortamlarda çalışan bireylerde akciğer hastalıkları, solunumsal güçlükler ve kronik inflamasyon bulgularının raporlandığı da not edilmektedir.

Ürogenital Sistem: Üreme sağlığı üzerindeki etkiler, kanıt düzeyinin görece güçlü ve kaygıların en somut biçimde dile getirildiği alanlardan birini oluşturmaktadır. Chartres ve ark.'nın 2024 yılında yayınladıkları hızlı sistematik derlemede; ürogenital sistem (over folikülleri ve seks hormonları), sindirim sistemi (kolon ve ince bağırsağın makro veya mikroanatomik etkileri, hücre proliferasyonu ve hücre ölümünde değişiklikler ile kronik inflamasyon) ve solunum sistemi (akciğer fonksiyonu, akciğer hasarı, kronik inflamasyon ve oksidatif stres) için mevcut kanıtların genel kalitesinin "orta" olarak değerlendirildiği ve mikroplastik maru-

ziyetinin bu sistemler üzerindeki olumsuz etkilerinin "şüpheli" olduğu sonucuna varıldığı bildirilmiştir (38). Yine aynı çalışmada insanlarda doğum sonuçları ve gebelik süresi açısından ise, kanıtların "düşük" ve "çok düşük" kalitede olması nedeniyle mikroplastik maruziyetinin "sınıflandırılamaz" olarak değerlendirildiği ve genel olarak, mikroplastiklerin insanlarda üreme, sindirim ve solunum sağlığına zarar verme potansiyelinin "şüpheli" olduğu ve özellikle kolon ve akciğer kanseri ile olası bir ilişki bulunduğu sonucuna ulaşıldığı aktarılmıştır. İnsan biyoizleme çalışmaları; plasenta, mekonyum, amniyotik sıvı ve semen dahil üreme dokularında mikroplastik varlığını belgelemiştir. Kritik bir bulgu olarak, plasental mikroplastik yükü ile doğum ağırlığı arasındaki negatif korelasyon dikkat çekmektedir. Ayrıca plastik kaplarda yiyecek tüketimi, gebelerde plasental mikroplastik kontaminasyon riskini anlamlı düzeyde arttırmaktadır (39). Plasentanın, anne ve fetus arasındaki tüm madde alışverişini yöneten yaşamsal bir organ olması sebebiyle, bu yapıda mikroplastik saptanması, fetüsün intrauterin dönemde maruziyete doğrudan açık olduğuna işaret etmekte ve gelişimsel toksisite ile uzun vadeli sağlık sonuçları açısından ciddi endişe yaratmaktadır.

Nörolojik Etkiler: Merkezi sinir sistemi üzerindeki etkiler, mikroplastik araştırmalarının insan kanıtının en sınırlı kaldığı alan olmaya devam etmektedir. Nihart ve ark.'nın 2025 yılında yayınladıkları post-mortem çalışmada, insan beyin dokusunda MNP biyobirikimi piroliz-gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi ile kanıtlanmış; 2024 yılına ait örneklerde medyan konsantrasyonun (4.917 μg/g) 2016 yılına ait örneklerden (3.345 μg/g) anlamlı düzeyde yüksek olduğu görülmüştür (19). 2011–2025 yılları arasında yayınlanmış olan 234 özgün araştırma makalesinden kanıt sentezleyen sistematik bir derleme çalışmasında, MNP'lerin nöronal hasar, sinaptik işlev bozukluğu, kan-beyin bariyeri hasarı, nöroinflamasyon ve protein agregasyonu dahil olmak üzere pek çok nörotoksik etki ürettiği ortaya konmuştur. Bu bozuklukların bilişsel gerilemeye ve motor işlev kayıplarına katkıda bulunabileceği ileri sürülmektedir (40).

Sonuç ve Halk Sağlığı Açısından Öneriler

Bu derlemede ele alınan güncel literatür, birkaç yıl önce yalnızca deniz bilimcilerin gündeminde yer alan mikroplastik sorununu artık çok boyutlu bir halk sağlığı meselesi olarak konumlandırmaktadır. Kardiyovasküler plakta MNP varlığı ile olumsuz klinik sonuçlar arasındaki güçlü ilişkiden, üreme dokularına ve beyin korteksine uzanan biyobirikime kadar elde edilen bulgular mikroplastik-sağlık etkileşiminin artık görmezden gelinemeyecek kadar güçlü olduğunu göstermektedir. Kanıt havuzunun dengeli bir değerlendirmesi ise birkaç kritik saptamayı zorunlu kılmaktadır. İnsan verisi kapsamlıdır ancak büyük ölçüde ilişkisel niteliktedir. Hayvan deneyleri ve in vitro çalışmalar önemli katkılar sunmakla birlikte, ekseriyetle çevre gerçekliğiyle örtüşmeyen yüksek konsantrasyonlar kullanmaktadır. Analitik metodoloji hızla olgunlaşmakla beraber, henüz biyolojik matriksler için standartlaşmamıştır. Tüm bu kısıtlılıklara karşın, DSÖ raporundan EFSA'nın yeni bilimsel değerlendirme sürecine uzanan düzenleyici eylem hattı, önlem ilkesinin artık idari olarak da devreye girdiğinin somut göstergesidir.

Türkiye özelinde şu üç sonuç özellikle belirgindir: Birincisi, ülke deniz ve tatlı su kaynaklarının mikroplastik kirliliği uluslararası düzeylerle kıyaslanabilir ölçektedir. İkincisi, Türk araştırmacıların sofra tuzu, şişelenmiş su, dolmuş midye ve atıksu arıtma tesisleri alanlarında ürettikleri maruziyet verileri, spesifik ulusal risk profilini ortaya koymak açısından özgün katkılar sunmaktadır. Üçüncüsü ve en önemlisi, bu maruziyet verilerini bağlayıcı halk sağlığı politikasına dönüştürecek standart analitik protokoller ve ulusal izleme programları henüz mevcut değildir. Halk sağlığı disiplini açısından öncelikli eylem alanları şöyle sıralanabilir: Ulusal mikroplastik izleme programının kurulması, plastik ambalaj-gıda etkileşimine ilişkin düzenleyici standartların geliştirilmesi, atıksu arıtma altyapısının mikroplastik giderimi için kapasitesinin artırılması, kırılgan toplulukları kapsayan prospektif epidemiyolojik çalışmaların başlatılması ve Türkiye'ye özgü maruziyet verilerini referans veriyle ilişkilendiren biyoizleme kohortlarının oluşturulması. Bu adımlar, yalnızca bilgi boşluklarını doldurmakla

kalmayıp aynı zamanda önümüzdeki yıllarda şekillenecek uluslararası standartları etkileme konumunda bir ülkenin etkin politika üretimine zemin hazırlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances. 2017;3(7):e1700782. doi:10.1126/sciadv.1700782.
2. Thompson RC, Olsen Y, Mitchell RP, et al. Lost at sea: where is all the plastic? Science. 2004;304(5672):838-. doi:10.1126/science.1094559.
3. Gigault J, Ter Halle A, Baudrimont M, et al. Current opinion: What is a nanoplastic? Environmental Pollution. 2018;235:1030-4. doi: 10.1016/j.envpol.2018.01.024.
4. UNDRR. Microplastics Geneva: UNDRR2023 [cited 2026 16.02.2026]. Available at: https://www.undrr.org/understanding-disaster-risk/terminology/hips/ch0504.
5. Vasse GF, Melgert BN. Microplastic and plastic pollution: impact on respiratory disease and health. European Respiratory Review. 2024;33(172). doi:10.1183/16000617.0226-2023.
6. Vethaak AD, Legler J. Microplastics and human health. Science. 2021;371(6530):672-4. doi:10.1126/science.abe5041.
7. Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. Marine Pollution Bulletin. 2011;62(12):2588-97. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.
8. Boucher J, Friot D. Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources: Iucn Gland, Switzerland; 2017. doi:10.2305/IUCN.CH.2017.01.en.
9. Sun J, Dai X, Wang Q, Van Loosdrecht MC, Ni B-J. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. Water Research. 2019;152:21-37. doi:10.1016/j.watres.2018.12.050.
10. Andrady AL. Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin. 2011;62(8):1596-605. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.
11. Plastics Europe. Plastics – the fast Facts 2024 2024 [cited 2026 27.02.2026]. Available at: https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2024/.
12. Valdivia S, Riquelme C, Carrasco MC, et al. Polyethylene microplastics and human cells: a critical review. Toxics. 2025;13(9):756. doi:10.3390/toxics13090756.
13. Marfella R, Prattichizzo F, Sardu C, et al. Microplastics and nanoplastics in atheromas and cardiovascular events. New England Journal of Medicine. 2024;390(10):900-10. doi:10.1056/NEJMoa2309822.
14. Bertke S, Calaf G, Colosio C, et al. Styrene, styrene-7, 8-oxide, and quinoline: International Agency for Research on Cancer; 2019.
15. Lithner D, Larsson Å, Dave G. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. Science of the Total Environment. 2011;409(18):3309-24. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.04.038.
16. Campisi L, La Motta C, Napierska D. Polyvinyl chloride (PVC), its additives, microplastic and human health: Unresolved and emerging issues. Science of the Total Environment. 2025;960:178276. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.178276.
17. Altunışık A. Microplastic pollution and human risk assessment in Turkish bottled natural and mineral waters. Environmental Science and Pollution Research. 2023;30(14):39815-25. doi:10.1007/s11356-022-25054-6.
18. Woo J-H, Seo HJ, Lee J-Y, et al. Polypropylene nanoplastic exposure leads to lung inflammation through p38-mediated NF-κB pathway due to mitochondrial damage. Particle and Fibre Toxicology. 2023;20(1):2. doi:10.1186/s12989-022-00512-8.

19. Nihart AJ, Garcia MA, El Hayek E, et al. Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. Nature Medicine. 2025;31(4):1114-9. doi:10.1038/s41591-024-03453-1.

20. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human consumption of microplastics. Environmental Science & Technology. 2019;53(12):7068-74. doi:10.1021/acs.est.9b01517.

21. Li J, Yang D, Li L, Jabeen K, Shi H. Microplastics in commercial bivalves from China. Environmental Pollution. 2015;207:190-5. doi:10.1016/j.envpol.2015.09.018.

22. Karami A, Golieskardi A, Keong Choo C, Larat V, Galloway TS, Salamatinia B. The presence of microplastics in commercial salts from different countries. Scientific Reports. 2017;7(1):46173. doi:10.1038/srep46173.

23. Mason SA, Welch VG, Neratko J. Synthetic polymer contamination in bottled water. Frontiers in Chemistry. 2018;6:389699. doi:10.3389/fchem.2018.00407.

24. Hernandez LM, Xu EG, Larsson HC, Tahara R, Maisuria VB, Tufenkji N. Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. Environmental Science & Technology. 2019;53(21):12300-10. doi:10.1021/acs.est.9b02540.

25. Dris R, Gasperi J, Mirande C, et al. A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. Environmental Pollution. 2017;221:453-8. doi:10.1016/j.envpol.2016.12.013.

26. Wright SL, Kelly FJ. Plastic and human health: a micro issue? Environmental Science & Technology. 2017;51(12):6634-47. doi:10.1021/acs.est.7b00423.

27. Gündoğdu S, Ayat B, Aydoğan B, Çevik C, Karaca S. Hydrometeorological assessments of the transport of microplastic pellets in the Eastern Mediterranean. Science of the Total Environment. 2022;823:153676. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.153676.

28. Akarsu C, Sönmez VZ, İsrapilova A, Sivri N. Microplastic distribution and composition in various ecosystems of the Marmara region: current gaps and research needs. Marine Science and Technology Bulletin. 2025;14(1):56-69. doi:10.33714/masteb.1638467.

29. Gündoğdu S. Contamination of table salts from Turkey with microplastics. Food Additives & Contaminants: Part A. 2018;35(5):1006-14. doi:10.1080/19440049.2018.1447694.

30. Akarsu C, Kumbur H, Gökdağ K, Kıdeyş AE, Sanchez-Vidal A. Microplastics composition and load from three wastewater treatment plants discharging into Mersin Bay, north eastern Mediterranean Sea. Marine Pollution Bulletin. 2020;150:110776. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.110776.

31. Coşgun MS, Gündoğdu S, Şahin ÜA, Ayvaz BU, Onat B, Ayvaz C. Microplastics in the indoor air of subway station in Istanbul. Air Quality, Atmosphere & Health. 2025;18(8):2213-27. doi:10.1007/s11869-025-01764-x.

32. Ertürk Arı P, Erdoğan Ş, Arı A, et al. Atmospheric microplastic dispersion in diverse land-use context: insight from the black sea coastal region in Türkiye. Air Quality, Atmosphere & Health. 2025;18(6):1729-43. doi:10.1007/s11869-025-01735-2.

33. Kufel J, Korbaś M, Janiec J, et al. Micro-and Nanoplastics as a Potential Risk Factor for Stroke: A Systematic Review. Journal of Xenobiotics. 2026;16(1):34. doi:10.3390/jox16010034.

34. Li S, Ma Y, Ye S, et al. Polystyrene microplastics trigger hepatocyte apoptosis and abnormal glycolytic flux via ROS-driven calcium overload. Journal of Hazardous Materials. 2021;417:126025. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.126025.

35. Thin ZS, Chew J, Ong TYY, Raja Ali RA, Gew LT. Impact of microplastics on the human gut microbiome: A systematic review of microbial composition, diversity, and

metabolic disruptions. BMC Gastroenterology. 2025;25(1):583. doi:10.1186/s12876-025-04140-2.

36. Amato-Lourenço LF, Carvalho-Oliveira R, Júnior GR, dos Santos Galvão L, Ando RA, Mauad T. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. Journal of Hazardous Materials. 2021;416:126124. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.126124.

37. Epeslidou E, Scott JS, De Klein B, Cudia JT, Melgert B, Prekovic S. Microplastics as environmental modifiers of lung disease. EMBO Molecular Medicine. 2025:1-15. doi:10.1038/s44321-025-00353-w.

38. Chartres N, Cooper CB, Bland G, et al. Effects of microplastic exposure on human digestive, reproductive, and respiratory health: a rapid systematic review. Environmental Science & Technology. 2024;58(52):22843-64. doi: 10.1021/acs.est.3c09524.

39. Ali-Hassanzadeh M, Arefinia N, Askarpour H, Mashayekhi-Sardoo H. The effects of exposure to microplastics on female reproductive health and pregnancy outcomes: A systematic review and meta-analysis. Reproductive Toxicology. 2025;135:108932. doi:10.1016/j.reprotox.2025.108932.

40. Vojnits K, De Leon A, Gibon J, Barker P, Mahmoudi M, Pakpour S. A systematic review of the potential neurotoxicity of micro-and nanoplastics: the known and unknown. Particle and Fibre Toxicology. 2025;22(1):29. doi:10.1186/s12989-025-00647-4.