

Mikroplastikler ve nanoplastikler – maruziyet yolları, ölçüm zorlukları ve halk sağlığı etkileri

Prof. Dr. Sedat Gündoğdu



2006 yılında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünden mezun olan Gündoğdu, 2009 yılından bu yana Çukurova Üniversitesinde plastik ve mikroplastik kirliliğini araştırmakta ve Mikroplastik Araştırma Grubu'nu yönetmektedir. Ayrıca Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezinde küresel plastik atık ticaretinin çevresel etkilerini araştırmaktadır. Gündoğdu, mikroplastiklerin insan dokusu, gıda, hava, toprak ve sucul ortamlardaki varlığı hakkında çok sayıda yayın yaptı. Prof. Gündoğdu, çeşitli dergilerin yayın kurullarında görev yapmakta ve Etkili Plastik Anlaşması için Bilim İnsanları Koalisyonunun da kurucu üyesidir.

Plastiklerin çevresel kirlileti olarak tanımlandığı 1970'li yıllardan bu yana yapılan çalışmalar, mikro ve nanoplastiklerin (MNP'ler; 1 nm-5 mm) yalnızca ekosistemlerde değil, insan vücudunda da biriktiğini göstermiştir (Gündoğdu, 2022). MNP'lerin mide ve kolon dokusu, plasenta, testis, anne sütü, kan, kalp ve akciğer dokusu (Özsoy et al., 2024) gibi çeşitli biyolojik ortamlarda tespit edilmesi, plastik kirliliğinin çevresel bir sorun olmaktan çıkıp doğrudan insan sağlığını etkileyen bir tehdit hâline geldiğini ortaya koymaktadır (Zhao et al., 2024). Plastik üretimindeki artış ve yetersiz atık yönetimi devam ettikçe, insan vücudundaki MNP yükünün gelecekte daha da yükselmesi beklenmektedir. Bu nedenle uluslararası kuruluşlar MNP maruziyetine ilişkin riskleri değerlendiren raporlar ve gelecek projeksiyonları yayımlamış, Birleşmiş Milletler ise insan sağlığı üzerindeki etkileri de kapsayan bağlayıcı bir küresel plastik anlaşması için müzakereleri başlatmıştır (PEW, 2025). Mevcut araştırmalar, MNP'lerin insanlara çeşitli maruziyet yollarıyla aktarılabilirliğini ve bu parçacıkların biyolojik sistemlerde inflamasyon, oksidatif stres ve immün yanıt bozuklukları gibi etkiler oluşturabileceğini göstermektedir (Zuri

et al., 2023). Ancak bu alandaki hızlı gelişmelere rağmen MNP'lerin sağlık üzerindeki uzun vadeli etkileri hâlen yeterince anlaşılamamıştır. Ayrıca insan dokusunda MNP tespiti için standartlaştırılmış analitik yöntemlerin bulunmaması, maruziyet verilerinde tutarsızlıklara ve risk değerlendirmelerinde belirsizliklere yol açmaktadır (Morgan et al., 2024). Her ne kadar MNP'ye dair bilinmezlikler mevcut olsa da gelişen bilim bu belirsizlikleri birer birer aydınlatarak insan için tehlike çanlarının daha şiddetli çalmasına neden olmaktadır. MNP'lerin kimyasal çeşitliliği, farklı morfolojileri ve on binlerce katkı maddesi içerebilmeleri, toksikolojik özelliklerinin değerlendirilmesini daha da güçleştirmektedir (Gündoğdu et al., 2024). Bu nedenle MNP maruziyetinin boyutunu, biyolojik etkilerini ve sağlık risklerini doğru biçimde tanımlayabilmek için araştırmaların güçlendirilmesine ihtiyaç vardır. Bu yazının temel amacı, insanların MNP'lere maruz kaldığı yolları ve bu maruziyetlerin olası sağlık sonuçlarını kapsamlı biçimde ele almaktır.

Mikro ve Nanoplastiklerin Tanımı, Kaynakları ve Karşılaşılan Zorluklar

MNP'lerin küçük boyutları, yüksek yüzey/hacim oranları ve çeşitli polimer yapıları,

bu parçacıkları hem ekosistemlerde hem de biyolojik sistemlerde reaktif hâle getirir. Mikroplastikler (MP'ler) 5 mm'den küçük parçacıklar olup kozmetik ürünlerdeki mikro boncuklar, tekstil lifleri ya da araç lastiği parçaları gibi birincil kaynaklardan doğrudan çevreye karışabilir veya plastik atıkların ışık, mekanik aşınma ve kimyasal süreçlerle parçalanması sonucu ikincil olarak oluşabilir (Gündoğdu, 2022). Nanoplastikler (NP) ise 1 µm'den küçük olması nedeniyle daha yüksek hareketlilik gösterir, biyolojik bariyerleri geçebilir ve çevresel ortamlarda tespit edilmeleri oldukça zordur (Mohsen et al., 2025).

MNP'ler; ambalaj atıkları, tekstil lifleri, endüstriyel ürünler ve balıkçılık ekipmanları gibi geniş bir yelpazedeki plastik materyallerin bozulması sonucu oluşur (Gündoğdu, 2022). Bu parçacıklar sucul ve karasal ortamlarda hızla yayılır, besin zincirine girer ve biyolojik dokularda birikebilir (Gündoğdu vd., 2025). Böylece hem fiziksel zararlara hem de yüzeylerinde taşıdıkları ağır metal ve organik kirlileticilerin biyolojik organizmalara aktarılmasına yol açarlar (Gündoğdu vd., 2024). Özellikle NP'lerin hücrel membranları aşabilme kapasitesi, potansiyel toksisitelerini daha kritik hâle getirmektedir.





Mikro ve nanoplastikler artık yalnızca çevresel bir kirlilik unsuru değil; kan, akciğer, plasenta, anne sütü ve sindirim sistemi dâhil olmak üzere insan vücudunun pek çok dokusunda tespit edilen görünmez bir halk sağlığı tehdididir. Solunum, beslenme, deri teması ve tıbbi uygulamalar yoluyla sürekli maruz kalan bu parçacıklar; inflamasyon, oksidatif stres ve bağışıklık sistemi bozukluklarıyla ilişkilendirilmekte, uzun vadeli etkileri ise hâlen belirsizliğini korumaktadır.

MNP'lerin çevrede tespit edilmesi için FTIR, Raman ve kütle spektrometrisi gibi ileri teknikler kullanılmakla birlikte, metodolojik ilerleme hâlâ devam etmektedir (Vural et al., 2025). Ayrıca MNP davranışına ilişkin bilgi boşlukları — parçalanma süreçlerinin dinamikleri, çevresel koşulların etkisi, taşınım modelleri ve biyolojik etkilerin uzun vadeli sonuçları — araştırmaları sınırlayan başlıca faktörlerdir. Düzenleyici eksiklikler ve uluslararası standartların yokluğu ise kirlilikle mücadelede etkili politikaların geliştirilmesini zorlaştırmaktadır.

İnsanlarda Mikro ve Nanoplastik (MNP) Maruziyet Yolları

Çevresel ve Diyet Yoluyla Maruziyet

İnsan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan MNP'ler hem iç hem de dış mekânlarda solunum, temas ve besin yoluyla sürekli maruz kalan kirleticiler hâline gelmiştir (Coşgun et al., 2025). Dünya genelinde yapılan çalışmalar, incelenen hiçbir bölgenin MP'lerin kirlilemediği bir bölge olmadığını göstermektedir (PEW, 2025). İç mekân havasında MNP konsantrasyonlarının dış mekâna göre çok daha yüksek seviyelere ulaşması, insanların zamanlarının yüzde 80'inden fazlasını kapalı ortamlarda geçirmeleri nedeniyle

önemli bir risk oluşturmaktadır (Coşgun et al., 2025). Polietilen tereftalat (PET), polietilen (PE) ve polipropilen (PP) iç mekân ve dış mekân tozlarında en sık raporlanan polimerlerdir (Coşgun et al., 2025). Akciğer dokusunda PP ve PET türevi MNP'lerin tespit edilmesi (Wang et al., 2023), solunumsal maruziyetin biyolojik sonuçlarını doğrulamaktadır. Farklı coğrafyalardan elde edilen bronkoalveolar lavaj örneklerinde belirgin bölgesel farklılıkların bulunması ise çevresel kirlilik düzeyleri ve yöntemsel farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Vasse & Melgert, 2024).

Deri yoluyla maruziyet daha çok iç mekân kaynaklı olup tekstil ürünleri, kozmetikler ve mikro boncuk içeren kişisel bakım ürünleri aracılığıyla gerçekleştiği düşünülmektedir (Menichetti et al., 2024). 100 nm'nin altındaki parçacıkların epidermal bariyeri aşabildiği ve bazı MNP'lerin kan dolaşımına geçebildiği gösterilmiştir (Menichetti et al., 2024). In vitro ve in vivo çalışmalar, MNP'lerin deri hücrelerinde inflamasyon, yaşlanma, yara iyileşmesinde gecikme ve fibroblastlarda gen ekspresyonu değişimleri gibi olumsuz etkiler oluşturabildiğini göstermektedir (Eom et al., 2024). Yeni bulgular, MNP'lerin genital deride bile tespit edildiğini bildirmektedir (Codrington et al., 2024).

Diyetsel maruziyet, MNP'lerin insanlara ulaşmasında en önemli yolların başında gelir. Plastik ambalajlar, tek kullanımlık kaplar, şişelenmiş su, yağ, içecekler ve bebek biberonları dâhil olmak üzere çok sayıda ürün MNP içermektedir (Gündoğdu, 2022). Taze sebze ve meyvelerde, tuzda, şeker ve balda mikroplastik varlığı doğrulanmıştır (Gündoğdu, 2018; Gündoğdu, 2022; Gündoğdu et al., 2024). Sucul ekosistemlere her yıl milyonlarca ton plastik taşınmakta ve bu ortamlar MNP birikiminin ana rezervuarları hâline gelmektedir (Gündoğdu et al., 2026). Bivalvler, plankton, balıklar ve üst trofik düzeydeki türler aracılığıyla gerçekleşen trofik transfer sonucunda MNP'ler insan besinine ulaşmakta, özellikle bütün olarak tüketilen midye ve istiridyeler aracılığıyla doğrudan sindirim sistemine geçmektedir (Gündoğdu et al., 2025). Yenilebilir dokularda MNP tespit eden çalışmaların artması, diyetel maruziyetin halk sağlığı açısından kritik olduğunu göstermektedir (Gündoğdu et al., 2020a; 2020b). MNP'lerin kimyasal katkı maddeleri ve adsorbe ettikleri toksik çevresel kirlleticiler aracılığıyla insan sağlığında inflamasyon, immün yanıt bozuklukları, üreme toksitesi, fetal gelişim kısıtlanması ve nöroinflamasyon gibi etkiler oluşturabileceğine dair bulgular giderek artmaktadır (Gündoğdu et al., 2024).

Tıbbi ve Farmasötik Ürünler Yoluyla Maruziyet

Sağlık sektöründe plastiklerin yaygınlaşması, özellikle tek kullanımlık ürünlerin sterilite, maliyet ve erişilebilirlik açısından avantaj sağlaması nedeniyle hızla artmıştır (Gündoğdu, 2022; Çağlayan et al., 2024). Ancak bu yaygın kullanım, tıbbi işlemler sırasında MNP maruziyetini de artırmaktadır. Kateterler, enjektörler, infüzyon setleri ve implantlar gibi birçok tıbbi cihaz üretim sırasında çeşitli katkı maddeleri içerir; bunların bir kısmı endokrin bozucu, nörotoksik veya karsinogeniktir (Çağlayan et al., 2024). Cerrahi işlemler, damar içi tedaviler veya implantlar aracılığıyla MNP'lerin dokuya ve dolaşıma doğrudan aktarılabilmesi önemli bir risk oluşturmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, insanların mide, akciğer, kan, karaciğer, böbrek, plasenta, anne sütü, idrar ve dışkıında MNP'lerin tespit edildiğini göstermiştir (Özsoy et al., 2024). Bu bulgularla paralel olarak in vivo ve in vitro çalışmalar, MNP'lerin immün, sindirim, solunum ve üreme sistemlerinde olumsuz etkiler

Mikro ve nanoplastiklerin küçük boyutları, kimyasal çeşitlilikleri ve taşıdıkları katkı maddeleri, bu parçacıkların toksikolojik etkilerinin değerlendirilmesini son derece güçleştirmektedir. İnsan dokularında tespit edilmelerine rağmen, standart analiz yöntemlerinin bulunmaması maruziyet düzeyleri ve sağlık riskleri konusunda önemli belirsizlikler yaratmaktadır. Mevcut veriler, plastik kirliliğinin artık ekosistemle sınırlı kalmadığını, doğrudan insan sağlığını etkileyen küresel bir sorun hâline geldiğini göstermektedir.

oluşturabileceğini ortaya koymuştur (Zhang et al., 2022). MNP'lerin çevresel kirleticileri adsorbe ederek ağır metaller ve kalıcı organik kirleticilerle birlikte taşımaları, kimyasal toksisiteyi artırmaktadır (Gündoğdu et al., 2024). Bunun yanında BPA, nonilfenol ve PBDE gibi katkı maddelerinin tıbbi plastiklerden sızarak insanlara geçebildiği bilinmektedir (Gündoğdu et al., 2024).

İnsan Vücudunda Mikroplastiklerin Tespiti ve Sayımı

MNP'lerin insan vücuduna solunum, yutma ve dermal temas yoluyla girdiği artık net biçimde ortaya konmuş, buna paralel olarak biyolojik örneklerde MNP tespitine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Kullanılan örnek türüne göre örnekleme stratejileri değişmektedir: tükürük, balgam, dışkı, idrar ve nazal sekresyon gibi kolay erişilebilir örneklerde plastik içermeyen (cam/metal) kap ve ekipman kullanımı kontaminasyonu önlemede

temel gerekliliktir (Vural et al., 2025). Kan örnekleri genellikle paslanmaz çelik iğne ve cam ya da plastik içermeyen sistemlerle alınırken, alt solunum yolları için bronkoalveolar lavaj uygulanmaktadır. Plasenta, akciğer, kolon, karaciğer, testis, damar plağı, trombus gibi dokular ise çoğunlukla cerrahi işlemler sırasında, sıkı kontaminasyon kontrolü altında örneklenmektedir (Zhao et al., 2025).

Biyolojik örnekler yüksek oranda organik/inorganik materyal içerdiği için analiz öncesi ön işlem zorunludur. Organik bileşenlerin uzaklaştırılması için enzimler, oksidanlar (H_2O_2), asidik (HNO_3) veya bazik (KOH) çözeltiler; inorganik bileşenlerin ayrılması için çinko klorür veya sodyum iyodür gibi yoğun tuz çözeltileriyle yoğunluk ayrımı uygulanmaktadır (Vural et al., 2025). Seçici çözücü ekstraksiyonu ile belirli polimer sınıfları (örn. PVC, PET) hedeflenebilmektedir (Vural et al., 2025). Ekstraksiyon sonrası floresan mikroskopi, Raman, FTIR ve LDIR spektroskopisi, SEM-EDS, Py-GC/MS ve TD-GC/MS gibi tekniklerle polimer tanımlaması ve kantifikasyon yapılmaktadır (Vural et al., 2025). Nile Red ile boyalı parçacıkların floresan mikroskopi ile birkaç mikrometreye kadar tespit edilebilmesi mümkün olsa da yanlış pozitif riski ve polimer türünü ayırt edememesi önemli bir sınırlılıktır (Gündoğdu et al., 2025). Raman (~1 µm) ve FTIR/LDIR (10–20 µm) spektroskopisi polimer kimliği için güçlü araçlar olmakla birlikte nanoskopik fraksiyona duyarlıdır (Gündoğdu et al., 2025). SEM-EDS nano-ölçeğe kadar boyut/morfoloji ve elementel bileşim sağlayabilir, ancak polimer tipini ayırt edemez (Gündoğdu et al., 2025). Py-GC/MS ve TD-GC/MS polimer türü ve kütle konsantrasyonu hakkında bilgi sunar ancak termal bozunma sırasında trigliseridler gibi matriks bileşenlerinin polietilene benzer ürünler oluşturması yanlış tanımlamaya yol açabilir (Gündoğdu et al., 2025).

Hastane ortamında havadaki MP düzeylerinin yüksek olması (Özsoy et al., 2024), küçük örnek kütleleri ve sınırlı replikasyon, hem kontaminasyon hem de geri kazanım kayıpları nedeniyle sonuçların aşırı ya da eksik tahmin edilmesine neden olabilir. Çoğu çalışmada ham spektral verilerin paylaşılmaması da üçüncü taraf doğrulamayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, insan vücudundaki MNP yüküne ilişkin mevcut veriler temkinli ve eleştirel biçimde değerlendirilmelidir.

Toksikolojik Mekanizmalar ve Sağlık Üzerindeki Etkiler

Damar yolu ile maruziyet bir kenara bırakırsa gastrointestinal sistem, MNP'lere maruziyetin ana kapısıdır. 150 µm'den büyük partiküller mukus tabakasında tutulurken, daha küçük partiküller mukozayı aşarak enterosit endositozu, Peyer plaklarındaki M hücreleri üzerinden transsitoz, villus ucunda persorpsiyon ve inflamasyona bağlı paracellular geçiş gibi yollarla dolaşıma geçebilir (Peters et al., 2022). Benzer şekilde, solunum yoluyla alınan partiküller alveol-kapiller bariyeri aşarak ya da mukosilyer temizlenme ile yutularak gastrointestinal sisteme taşınarak sistemik dolaşıma katılabilmektedir (Sofield et al., 2025).

MNP'lerin biyolojik etkileri fiziksel ve kimyasal bileşenler şeklinde iki ana grupta incelenir. Boyut, şekil ve doz; partiküllerin hücre içine alımını, doku birikimini ve mekanik hasarı belirlerken, kimyasal etkiler polimere eklenen katkı maddeleri ve yüzeye adsorbe

kirleticilerden kaynaklanır (Gündoğdu et al., 2024). Güncel değerlendirmeler, 16.000'den fazla katkı maddesinin kullanıldığını ve bunların 2.400'ünün kalıcılık, biyobirlikim ve toksisite açısından "potansiyel endişe verici madde" sınıfında olduğunu göstermektedir (Wagner et al., 2024). Bu grupta ftalatlar, BPA, nonilfenoller, PBDE'ler, OPE'ler ve PFAS başta olmak üzere endokrin bozucu, nörotoksik, hepatotoksik ve üreme toksik etkiler taşıyan bileşikler yer alır (Wagner et al., 2024).

Bağırsak mikrobiyotasına ilişkin in vivo çalışmalar, PS ve PE MP's maruziyetinin bakteri kompozisyonunu değiştirerek disbiyoz, safra asidi ve amino asit metabolizmasında bozulma ve inflamatuvar yanıt artışına yol açtığını göstermektedir (Bora et al., 2024). Bu değişiklikler bağırsak bariyer bütünlüğünün bozulması, sıkı bağlantı proteinlerinde hasar, oksidatif stres ve kronik inflamasyonla ilişkilidir.

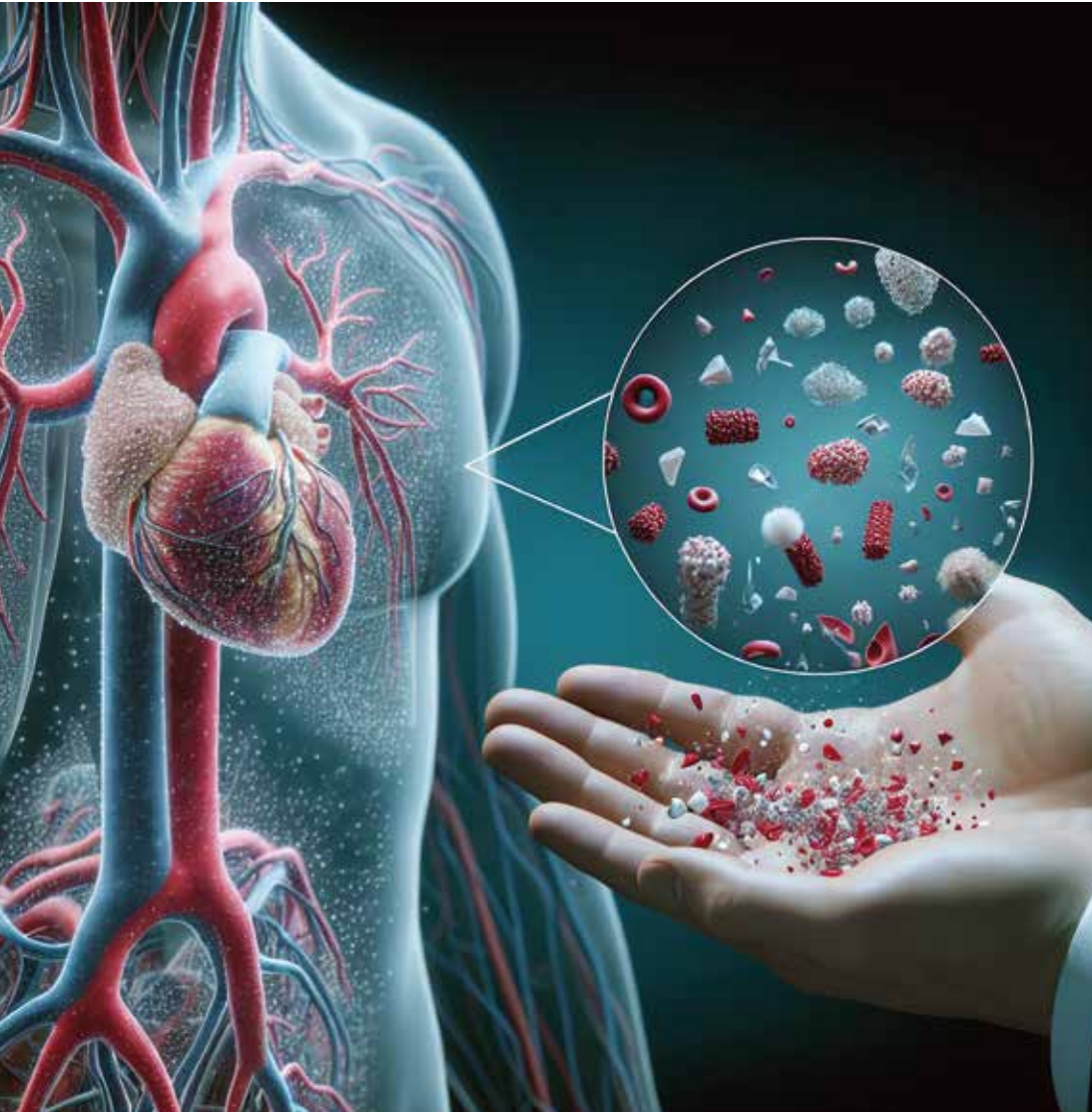
İmmün sistem düzeyinde MNP'lerin yabancı partikül olarak algılanması, IL-1β, TNF-α

ve IL-6 gibi proinflamatuvar sitokinlerin artışıyla sistemik inflamasyonu tetikleyebilir (Vanetti et al., 2025). Düzenleyici T hücreleri (Treg) ile Th17 hücreleri arasındaki dengenin bozulması, otoimmün süreçlerin alevlenmesine zemin hazırlayabilir (Li et al., 2020). Hücre içi düzeyde reaktif oksijen türlerindeki artış, DNA hasarı, genotoksisite ve onarım mekanizmalarının bozulması, uzun vadede karsinogenez potansiyelini gündeme getirmektedir (Dzierzynski et al., 2024). Bu bulgular, MNP maruziyetinin yalnızca lokal irritasyon değil, çoklu organ sistemini ilgilendiren, kronik ve kompleks bir toksikolojik problem olduğunu ortaya koymakta; özellikle uzun dönem epidemiyolojik çalışmalara duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır.

Mikro/Nanoplastikler, İnsan Sağlığı ve Küresel Plastik Anlaşması: Politika Yansımaları

Plastikler yaşam döngülerinin tüm aşamalarında tehlikeli kimyasallar, makroplastikler, MNP'ler ve sera gazları salarak

Plastik üretimindeki artış ve yetersiz atık yönetimi devam ettikçe, mikro ve nanoplastiklere maruziyetin kaçınılmaz biçimde artması beklenmektedir. Bu durum; bağışıklık sistemi, üreme sağlığı, bağırsak mikrobiyotası ve kronik hastalıklar üzerindeki olası etkiler nedeniyle ciddi bir halk sağlığı riski oluşturmaktadır. Bilimsel belirsizliklere rağmen mevcut kanıtlar, ihtiyatlılık ilkesine dayalı, bağlayıcı ve bütüncül küresel politikaların artık ertelenemez olduğunu ortaya koymaktadır.



çevre ve insan sağlığı üzerinde çok boyutlu bir yük oluşturmaktadır. Küresel plastik kirliliğinin ölçeği, MNP maruziyetinin yaygınlığı ve bunlara bağlı sağlık risklerine dair artan bilimsel kanıtlar, 1992 Rio Bildirgesi'nde formüle edilen ihtiyat ilkesi çerçevesinde acil eylem gereksinimini ortaya koymaktadır. Bunun yanında ozon tabakasının delinmesine neden olan florlu bileşiklerin yasaklanmasını sağlayan Montreal Protokolü de uluslararası anlaşmaların gerektiğinde ne düzeyde başarı sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla gerek ihtiyatlılık ilkesinin, gerekse de küresel yasakların, yürütülmekte olan Küresel Plastik Anlaşması müzakereleri dâhil, plastiklere yönelik uluslararası düzenlemelerin temel bileşeni olması gereklidir. Özellikle tıbbi plastiklerin ve bunların doğrudan MNP maruziyetine katkısının anlaşma kapsamına dâhil edilmemesi, plastik ve sağlık ilişkisine parçalı ve tutarsız bir yaklaşım doğuracaktır (Street et al., 2024). Her ne kadar bazı çevreler, sağlık hizmetlerinde kullanılan belirli polimer ve kimyasalların kısıtlanmasının hasta güvenliğini zayıflatılabileceğini savunsa da medikal plastiklerin mevcut, kontrolsüz kullanımıyla ilişkili uzun dönem maruziyet ve toksisite riskleri daha ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu nedenle bağlayıcı bir küresel anlaşmanın; kimyasalları, polimerleri, ürünleri ve bunların yerine geçecek alternatifleri sürdürülebilirlik, eşitlik ve şeffaflık eksenlerinde bütüncül biçimde ele alması gerekmektedir.

Sonuç ve Gelecek Yönelimler

MNP'lerin insan vücudunda çoklu dokularda ve biyolojik sınırlarda gösterilmiş olması, bu parçacıkların küresel ölçekte ortaya çıkan bir halk sağlığı sorunu olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Solunum, diyetel alım, dermal temas ve tıbbi müdahaleler yoluyla gerçekleşen maruziyet yolları, MNP kontaminasyonunun gündelik yaşamın ayrılmaz bir bileşeni hâline geldiğini göstermektedir. Ancak hâlâ yeterli çalışma olmadığı için bazı belirsizlikler mevcuttur. Bu belirsizlikleri gidermek için, insan örneklerinde MNP tespiti ve kantifikasyonuna yönelik standartlaştırılmış metodolojilerin geliştirilmesi öncelikli olmalıdır. Bununla birlikte, özellikle kırılgan gruplarda (bebekler, gebeler, kronik hastalığı olanlar) kronik maruziyetin sonuçlarını değerlendirecek uzunlamasına epide-miyolojik çalışmalara gereksinim vardır. Bilimsel ilerlemeye paralel olarak, plastik

üretimini kısıtlayan, plastik atık yönetimini güçlendiren, tehlikeli katkı maddelerini düzenleyen, biyolojik olarak daha az kalıcı alternatifleri teşvik eden ve sağlık-çevre etkileşimini merkeze alan politika araçları geliştirilmelidir. Plastik üretiminin sürekli arttığı bir dünyada, MNP'lerin risklerini anlamaya ve azaltmaya yönelik küresel kolektif çaba ertelenemez niteliktedir.

Kaynaklar

- Bora, S. S., Gogoi, R., Sharma, M. R., Anshu, Borah, M. P., Deka, P., Bora, J., Naorem, R. S., Das, J., & Teli, A. B. (2024). Microplastics and human health: unveiling the gut microbiome disruption and chronic disease risks. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14, 1492759.
- Codrington, J., Varnum, A. A., Hildebrandt, L., Prófrack, D., Bidhan, J., Khodamoradi, K., Höhme, A. L., Held, M., Evans, A., Velasquez, D., Yarborough, C. C., Ghane-Motlagh, B., Agarwal, A., Achua, J., Pozzi, E., Mesquita, F., Petrella, F., Miller, D., & Ramasamy, R. (2024). Detection of microplastics in the human penis. *Int J Impot Res.*
- Coşgun, M. S., Gündoğdu, S., Şahin, Ü. A., Ayvaz, B. U., Onat, B., & Ayvaz, C. (2025). Microplastics in the indoor air of subway station in Istanbul. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1-15.
- Çağlayan, U., Gündoğdu, S., Ramos, T. M., & Syberg, K. (2024). Intravenous hypertonic fluids as a source of human microplastic exposure. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 107, 104411.
- Dzierzynski, E., Gawlik, P. J., Puzniak, D., Flieger, W., Józwiak, K., Teresinski, G., Forma, A., Wdowiak, P., Baj, J., & Flieger, J. (2024). Microplastics in the Human Body: Exposure, Detection, and Risk of Carcinogenesis: A State-of-the-Art Review. *Cancers*, 16(21), Article 3703.
- Eom, S., Shim, W., & Choi, I. (2024). Microplastic-induced inhibition of cell adhesion and toxicity evaluation using human dermal fibroblast-derived spheroids. *J Hazard Mater*, 465, 133359.
- Gündoğdu, S. (2022). Plastik: Mucize mi Felaket mi? *Yeni İnsan* Yayınevi.
- Gundogdu, S., Akca, M. O., Gürsoy, M., Yılmaz, M., Zhang, X., Rodriguez-Seijo, A., ... & Velimirovic, M. (2025). Microplastics in soil: a comprehensive review of analytical techniques. *Frontiers in Soil Science*, 5, 1614075.
- Gündoğdu, S., Bour, A., Köşker, A. R., Walther, B. A., Napierska, D., Mihai, F. C., ... & Walker, T. R. (2024). Review of microplastics and chemical risk posed by plastic packaging on the marine environment to inform the Global Plastics Treaty. *Science of The Total Environment*, 946, 174000.
- Gündoğdu, S., Köşker, A. R., Akarsu, C., Aydoğan, B., Aydoğan, B., Blettler, M., ... & Gallitelli, L. (2026). Micro-and nanoplastic pollution in urban influenced aquatic environments: Sources, pathways, and remediation strategies. *Marine Pollution Bulletin*, 223, 119048.
- Gündoğdu, S., Köşker, A. R., Akça, H., Akça, M. O., Harada, N., & Turgay, O. C. (2025). Microplastics in food production and agricultural environments. In *Microplastics in Agriculture and Food Science* (pp. 285-307). Academic Press.
- Menichetti, A., Mordini, D., & Montalti, M. (2024). Penetration of microplastics and nanoparticles through skin: effects of size, shape, and surface chemistry. *Journal of Xenobiotics*, 15(1), 6.

Mohsen, M., Gündoğdu, S., Wang, Q., Zhou, H., & Zhang, C. (2025). Impact of micro and nanoplastics on aquaculture animals: a systematic review. *Aquaculture International*, 33(7), 655.

Morgan, S. E., Romanick, S. S., DeLouise, L., McGrath, J., & Elder, A. (2024). Understanding Human Health Impacts Following Microplastic Exposure Necessitates Standardized Protocols. *Current Protocols*, 4(7), e1104.

Özsoy, S., Gündoğdu, S., Sezigen, S., Tasalp, E., İkiz, D. A., & Kideys, A. E. (2024). Presence of microplastics in human stomachs. *Forensic Science International*, 364, 112246.

Peters, R., de Jong, N., de Haan, L., Wright, S., & Bouwmeester, H. (2022). Release and intestinal translocation of chemicals associated with microplastics in an in vitro human gastrointestinal digestion model. *Microplastics and Nanoplastics*, 2(1), 3.

PEW, S. (2025). Breaking the plastic wave: An Assessment of the Global System and Strategies for Transformative Change. <https://www.pew.org/en/research-and-analysis/reports/2025/12/breaking-the-plastic-wave-2025>.

Sofield, C. E., Anderton, R. S., Anyaegbu, C. C., Chiu, L. S., Fuller, K. A., & Gorecki, A. M. (2025). Digestion of microplastics with simulated gastrointestinal conditions mitigates uptake by intestinal epithelial cells: Quantified by imaging flow cytometry. *Journal of Hazardous Materials*, 139816.

Street, A., Stringer, R., Mangesho, P., Ralston, R., & Greene, J. (2024). Why medical products must not be excluded from the Global Plastics Treaty. *The Lancet*, 404(10464), 1708-1710.

Vanetti, C., Broggiato, M., Pezzana, S., Clerici, M., & Fenizia, C. (2025). Effects of microplastics on the immune system: How much should we worry? *Immunology Letters*, 272, 106976.

Vasse, G. F., & Melgert, B. N. (2024). Microplastic and plastic pollution: impact on respiratory disease.

Vural, T., Çetinkaya, S., Yeğen, V., Şapcıoğlu, S., & Gündoğdu, S. (2025). Protocol for extraction and analysis of microplastics in freshwater, sediment, and fish samples. *STAR protocols*, 6(3), 104057.

Wagner, M., Monclús, L., Arp, H.P.H., Groh, K.J., Løseth, M.E., Muncke, J., Wang, Z., Wolf, R., Zimmermann, L. (2024) State of the science on plastic chemicals – Identifying and addressing chemicals and polymers of concern.

Wang, S., Lu, W., Cao, Q., Tu, C., Zhong, C., Qiu, L., Li, S., Zhang, H., Lan, M., Qiu, L., Li, X., Liu, Y., Zhou, Y., & Liu, J. (2023). Microplastics in the Lung Tissues Associated with Blood Test Index. *Toxics*, 11(9).

Zhang, Y., Wang, S., Olga, V., Xue, y., Lv, S., Diao, X., Zhang, Y., Han, Q., Zhou, H. (2022). The potential effects of microplastic pollution on human digestive tract cells. *Chemosphere*, 291, 132714.

Zhao, B., Rehati, P., Yang, Z., Cai, Z., Guo, C., & Li, Y. (2024). The potential toxicity of microplastics on human health. *Science of The Total Environment*, 912, 168946.

Zhao, J., Lan, R., Tan, H., Wang, J., Ma, Y., Chen, Q., ... & Xing, B. (2025). Detection and characterization of microplastics and nanoplastics in biological samples. *Nature Reviews Bioengineering*, 1-15.

Zuri, G., Karanasiou, A., & Lacorte, S. (2023). Human biomonitoring of microplastics and health implications: A review. *Environmental research*, 116966.