



BİLİMSEL GÖRÜŞ

Mikroplastiklerin İnsan ve Çevre Sağlığı Üzerindeki Etkileri Hakkında Bilimsel Görüş¹

Bulaşanlar Komisyonu

ÖZET

Mikroplastikler, 1950’li yıllardan itibaren başlayan plastik kullanımının bir sonucu olarak hayatımıza girmiş ve son yıllarda yoğun sağlık endişelerine sebep olan küçük plastik partikülleridir. Mikroplastiklerin denizler, akarsular, okyanuslar, atmosfer ve toprakta yaygın bulunuşu bu endişeleri artırmaktadır. Özellikle su kaynaklarını kirletiyor olmalarının yanında boyutlarının küçük olması nedeniyle besin zincirinin tabanında yer alan organizmalar tarafından yutulmasından dolayı besin zincirine dahil olmaktadır. Mikroplastikler ayrıca ağır metaller gibi çeşitli çevresel bulaşanların da taşıyıcısı olabilmektedir. İnsanların ise oral, solunum ve deri yolu ile mikroplastiklere maruz kalması, potansiyel sağlık risklerinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Mikroplastik tayin yöntemlerinin standart olmaması, mikroplastiklerin şekil ve büyüklük gibi özelliklerinin farklı olması, vücuda girdiklerinde sağlık üzerindeki etkilerinin tam olarak bilinmemesi, gıdalardaki mikroplastik varlığı üzerine yer alan verilerin çok sınırlı olması gibi birçok etken insanlarda mikroplastik risk değerlendirmesi yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu bilimsel görüşte, mikroplastiklerin kaynakları, insanların mikroplastiklere maruz kalma yolları, mikroplastiklerin sağlık üzerindeki potansiyel etkileri, tanımlama ve analiz teknikleri ile mikroplastikler konusunda ülkemizde yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

GKGM - Risk Değerlendirme Daire Başkanlığı, 2023

ANAHTAR KELİMELER

Mikroplastik, nanoplastik, toksisite, mikroplastik analizi, maruz kalma

¹ 28/05/2021 tarihli Komisyon toplantısında alınan karara istinaden hazırlanmış, 27/12/2023 tarihli toplantıda kabul edilmiştir.

**İÇİNDEKİLER**

ÖZET.....	1
GÖREV TANIMI.....	3
GİRİŞ	4
Nano- ve Mikroplastiklerin Kaynakları.....	4
İnsanların Nano- ve Mikroplastiklere Maruz Kalması.....	5
Nano- ve Mikroplastiklerin Toksik Maddeler ile Etkileşimleri	5
Mikroplastiklerin Metabolizması, Eliminasyonu ve Meydana Getirdiği Sağlık Sorunları	6
Nano- ve Mikroplastik Analiz ve Tanımlama Teknikleri	11
Nano- ve Mikroplastikler ile İlgili Ülkemizde Yapılan Çalışmalar	16
DEĞERLENDİRME.....	21
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	23
KAYNAKLAR.....	24
KISALTMALAR	30



GÖREV TANIMI

Nano- ve mikroplastiklerin deniz ve okyanus gibi sucul ortamlarda önemli düzeylerde buldukları, yapılan bilimsel araştırmalarla ortaya konulmuştur. Son yıllarda, nano- ve mikroplastiklerin balık gibi deniz mahsulleri başta olmak üzere içme suyu, sofraya tuzu, gazlı içecekler ve poşet çay gibi çeşitli ham ya da işlenmiş gıdalarda bulunduğuna dair araştırma bulguları yayımlanmıştır. Bu bilimsel görüş, mikroplastiklerin insan ve evre sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerinin ve gıda güvenilirliği açısından öneminin değerlendirilmesi amacıyla literatür taraması yapılarak konu ile ilgili güncel çalışmalar ele alınarak oluşturulmuştur.



GİRİŞ

Plastikler; düşük maliyetleri, uygulama kolaylıkları, çok yönlü kullanımları ve dayanıklılıkları gibi birçok olumlu özellikleri nedeniyle günlük hayatın her alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada yıllık plastik üretimi 380 milyon tonun üzerindedir. Ambalaj film, alışveriş ve çöp poşeti, sıvı kabı, oyuncak, evsel kullanım ürünleri, yapı ve otomotiv malzemeleri gibi birçok farklı alanda yüksek miktarda plastik kullanımı söz konusudur (Sharma ve Bansal, 2016). Gıdaların ambalajlanması, depolanması, servis edilmesi, bulunduğu paket içerisinde sıcaklık ve atmosferinin kontrol edilmesi, üretim basamaklarına kolaylıkla entegre edilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı plastiklerin en önemli kullanım alanını ambalaj endüstrisi oluşturmaktadır (Jadhav vd., 2021). Polietilen tereftalat (PET), polipropilen (PP), yüksek (HDPE) ve düşük (LDPE) yoğunluklu polietilen, polistiren (PS) ve polivinilklorür (PVC) endüstriyel plastik malzemelerin üretiminde tek başına ya da kombine olarak kullanılan en yaygın hammaddelerdir (Geueke vd., 2018). Su, karbondioksit ya da metana indirgenmeleri yüzyıllar boyu sürebildiği için petrol türevi plastikler biyobozunur olarak nitelendirilmezler (Trivedi vd., 2016; Yoshida vd., 2016; Dhanraj vd., 2022).

Kullanılan plastik malzemelerin uygun şekilde bertaraf edilmemesi ve doğaya atılması, önemli bir çevresel soruna neden olmaktadır. Sorun esasında karada başlamaktadır. Şişe ve poşet gibi plastik atıkların çoğunluğunu teşkil eden öğeler hafif oldukları için rüzgarın etkisiyle su kaynaklarına ulaşmakta ve su üzerinde yüzerek okyanuslarda yayılmaktadır (Kosior ve Crescenzi, 2020). Deniz ve okyanuslara yıllık en az 8 milyon ton plastiğin karıştığı ifade edilmektedir (Jambeck vd., 2015). Bugün okyanuslarda 150 milyon tondan fazla plastik atık olduğu ve böyle devam ettiği takdirde 2050 yılına kadar denizlerde balıktan daha fazla plastik olacağı tahmin edilmektedir (Ocean Conservancy, 2016). Avrupa Birliği tarafından 2016 yılında yayımlanan raporda, farklı endüstri dalları tarafından oluşturulan plastik atık yüzdeleri incelendiğinde; ambalaj endüstrisi %39,9 ile birinci sırada yer almakta iken bunu sırasıyla %19,7 ile inşaat, %8,9 ile otomotiv, %5,8 ile elektrik ve elektronik, %3,3 ile tarım ve %22,4 ile diğer endüstri dalları (sağlık, spor, mobilya vb.) takip etmektedir (Lusher vd., 2017).

Boyutu 5 mm'den küçük olan plastik partiküllerine 'mikroplastik', 1 nm ile 1 µm arasında olanlara ise 'nanoplastik' ismi verilmektedir (Hartmann vd., 2019; Lai vd., 2022). Plastik atık miktarının devamlı artış gösterdiği dünyamızda çevreye bırakılan plastikler güneş ışığı, rüzgar, akışlar, canlılar ve dalga gibi çeşitli dış faktörlerin etkisiyle fiziksel olarak küçük parçacıklara ayrılmakta olup bunlara sekonder mikroplastik adı verilmektedir. Ayrıca, tüketiciye sunulan kozmetik, kişisel bakım ürünleri, boya ve deterjan gibi ürünlere kasıtlı olarak mikroboncuk adı verilen küçük plastik parçacıkları ilave edilmektedir. Bunlar ise primer mikroplastik olarak isimlendirilmektedir (Verschoor, 2015).

Nano- ve Mikroplastiklerin Kaynakları

Primer nano- ve mikroplastik kaynaklarını plastik peletler, kişisel bakım ürünleri, boya, yıkama atık suları, kanalizasyon, okullarda bulunan plastik koşu parkurları, suni çimler, şehirlerdeki kauçuk yollar ve yollarda aşınan araç lastikleri oluşturmaktadır. Sekonder



kaynaklar ise plastik poşet ve şişeler gibi kentsel atıkları, balıkçılık faaliyetleri sonucu oluşan atıkları, tarımsal örtü filmleri ve diğer büyük boyutlu plastik atıkları içermektedir (An vd., 2020). Dünyada artan araç sayısı ve yolculuk süreleri nedeniyle araç lastikleri ve bunların aşınması ile oluşan plastik partikülleri nano- ve mikroplastiklerin en önemli kaynağını meydana getirmektedir (Luo vd., 2021).

İnsanların Nano- ve Mikroplastiklere Maruz Kalması

Nano- ve mikroplastikler, özellikle denizlerde ve okyanuslarda yaşayan canlılar açısından problem oluşturmalarının yanında insan sağlığı açısından da risk oluşturma potansiyeline sahiptir. İnsanlar günlük yaşantılarında oral, solunum ve dermal yollarla nano- ve mikroplastiklere maruz kalmaktadır (Domenech ve Marcos, 2021).

Oral yani ağız yoluyla maruz kalma, literatürde en çok araştırılan nano- ve mikroplastiklere maruz kalma biçimi olarak görülmekle birlikte diğer yolların etkisinin de önemli olduğu düşünülmektedir. Yukarıda belirtildiği üzere okyanus ve deniz gibi sucul kaynaklar nano- ve mikroplastiklerin en yoğun bulunduğu ortamlardır. Sucul ortamlarda bulunan nano- ve mikroplastikler deniz ürünleri yoluyla sıklıkla gıda zincirine girebilmektedir (Lebreton vd., 2018). Ayrıca, nano- ve mikroplastiklerle kontamine olmuş sularla sulanan mahsuller insanların oral yolla nano- ve mikroplastiklere maruz kalmasının diğer bir kaynağıdır. Oral yolla nano- ve mikroplastiklere maruz kalmanın en önemli kaynakları arasında içme suları ve ambalajlı gıdalar da yer almaktadır. Günlük hayatımızda yaygın olarak kullanılan ambalaj malzemelerinden gıda ve içeceklere nano- ve mikroplastik geçişi olduğuna dair güçlü kanıtlar ortaya konulmuştur (Du vd., 2020; Fadare vd., 2020; Zhang vd., 2020; Jadhav vd., 2021; Jin vd., 2021).

Ekosistemde oluşan nano- ve mikroplastiklerin tamamı sucul kaynaklara karışmamakta bir kısmı da havada asılı kalmaktadır. Bu durumda, insanlar nano- ve mikroplastiklere solunum yoluyla da maruz kalabilmektedir (Wu vd., 2019).

İnsanların mikroplastiklerle kirlenmiş su veya toprakla etkileşimi ya da doğrudan partiküllerin deriyle teması ile maruz kalma meydana gelebilmektedir (Enyoh vd., 2019; Enyoh vd., 2020). Temas yoluyla maruz kalma, ciltteki gözeneklerden nano- ve mikroplastiklerin penetrasyonu yoluyla olur. Bu yolla maruz kalmada insan derisi gözenekleri kişiden kişiye değiştiği için bireysel duyarlılık da söz konusudur (Frederic vd., 2015).

Nano- ve Mikroplastiklerin Toksik Maddeler ile Etkileşimleri

Yüzey alanı/hacim oranının büyük olması mikroplastikleri toksik kimyasallar için elverişli bir sorbent haline getirmektedir. Bu sebeple, mikroplastikler pek çok kirleticinin organizmalara ve çevre ortamlarına taşınmasında görev yapabilmektedirler. Nitekim, son yıllarda ağır metallerin mikroplastiklere bağlandığına dair çeşitli raporlar literatürde yer almaktadır (Verla vd., 2019). Mikroplastikler hem metaller (Fe, Mn, Al, Pb, Cu, Ag ve Zn vb.) hem de hidrofobik organik kirleticiler (poliklorlu bifeniller (PCB), organoklorlu pestisitler



(OCP) ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) vb.) gibi kalıcı organik kirleticiler için vektör olarak görev yapmaktadırlar (Igalavithana vd., 2022).

Mikroplastiklerin ve organik kirleticilerin bir arada bulunma mekanizması esas olarak hidrofobik dağılım ve elektrostatik etkileşim ile ilişkilidir. Mikroplastiklerin kirleticileri adsorpsiyon süreci ile mikroplastiklerin boyutu, yapısı, ve yaşlanma derecesi, kirleticilerin kimyasal yapısı (fonksiyonel grup yapısı, polarite, polimer durumu vb.) ve adsorpsiyon ortamı (pH, sıcaklık, tuzluluk vb.) arasında doğrudan bir etkileşim mevcuttur. İlaveten, mikroplastiklerin ve kirleticilerin sinerjetik etkisi sonucunda organizmalardaki toksik maddelerin konsantrasyonu artış gösterebilmektedir. Böylece, mikroplastikler toksisiteyi artırdığı için biyolojik fonksiyonları daha fazla etkileyebileceği değerlendirilmektedir (Qingsong vd., 2022). Mikroplastiklere benzer şekilde nanoplastikler de çevresel kalıcılıkları, ekotoksisite potansiyelleri ve kimyasal kirleticiler için vektör olarak rol üstlenmeleri nedeniyle ciddi ekolojik ve sağlık sorunlarına yol açabilmektedir.

Nano- ve mikroplastiklerin memeli hücreleri ve dokuları ile bilhassa insanlar üzerindeki etkileri henüz yeterince ele alınmamıştır. İnsanlar, farklı gıda kaynakları ve içme suları aracılığıyla maruz kaldıkları nano- ve mikroplastikleri bünyelerinde biriktirebilmektedir. Bu bağlamda, plastik su kapları ve plastik çay poşetleri nano- ve mikroplastikler için potansiyel kaynak olarak ele alınmaktadır. İnsan dışı örneklerinde dahi nano- ve mikroplastiklerin tespit edilmiş olması, maruz kalınan nano- ve mikroplastik düzeylerinin yüksek olduğuna işaret etmektedir. İnsanlar nano- ve mikroplastiklere maruz kaldıktan sonra oksidatif stresin oluşabileceği, sitotoksik ve nörotoksik etkilerin görülebileceği, bağışıklık sisteminde fonksiyonel bozulmaların gözlenebileceği ve söz konusu kimyasalların diğer dokulara transfer edilebileceği rapor edilmiştir (Bhuyan, 2022). Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) tarafından yayımlanan “İçme sularında mikroplastik” başlıklı raporda mikroplastiklerin henüz olumsuz etkilere yol açtığına dair kanıt bulunmadığına işaret edilmiş olmakla birlikte daha fazla araştırma yapılması önerisi dikkat çekmektedir (WHO, 2019; Yong vd., 2020).

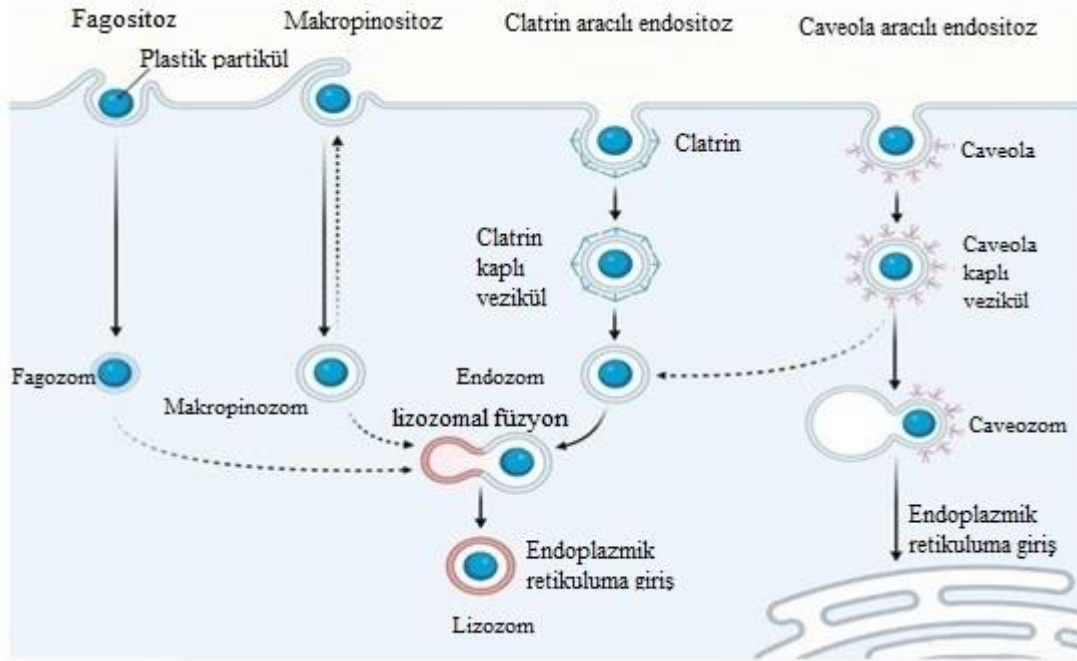
Mikroplastiklerin Metabolizması, Eliminasyonu ve Meydana Getirdiği Sağlık Sorunları

Nano- ve mikroplastiklerin içerdiği kimyasalların kaynakları; katkı maddeleri, polimerik hammaddeler ve plastiklerin çevredeki ortamdan adsorbe ettiği kimyasallardır. Plastik üretim sürecinde, renk ve şeffaflık gibi özellikleri elde etmek veya mekanik, termal ve elektriksel direnci arttırmak için plastik polimerlere çeşitli organik ve inorganik katkı maddeleri ilave edilir. Bu nedenle, organik ve inorganik katkı maddeleri de risk değerlendirmesi için temel bir konu olarak düşünülmelidir. Hidrofobik olan kimyasal kirleticilerin nano- ve mikroplastiklere kolayca adsorbe oldukları tespit edilmiştir (Ebrahimi vd., 2022).

Nanoplastikler insan vücudundaki proteinler, lipitler, karbonhidratlar, nükleik asitler, iyonlar ve su ile etkileşime girerek absorpsiyona uygun hale gelebilirler. Nano- ve mikroplastikler, Şekil 1, 2 ve 3'te gösterildiği gibi solunum, cilt ve gastrointestinal sistemden hücreler tarafından bir dizi yolla absorbe edilebilir. Fagositoz, makropinositoz, clatrin ve

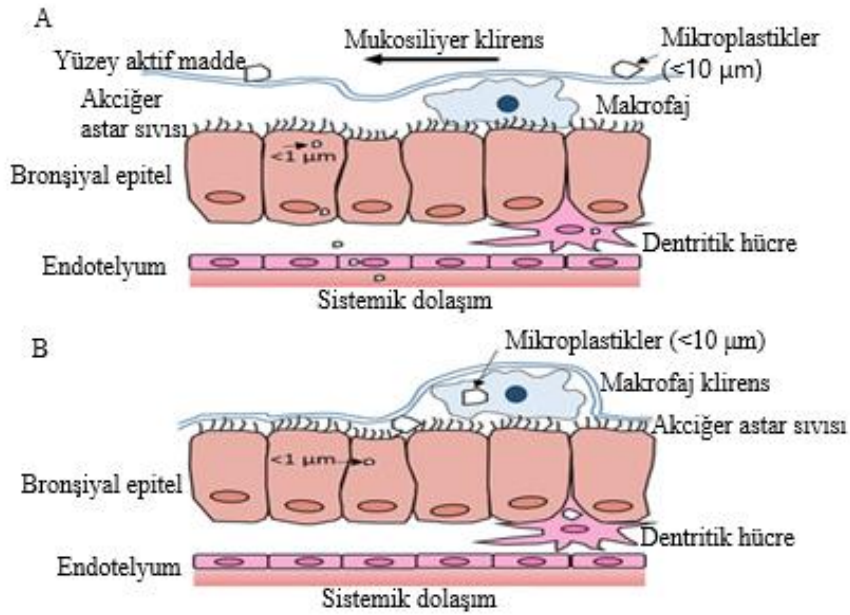
Mikroplastikler

caveola aracılı endositoz, plastik partiküllerin hücresel alımı için tanımlanmış yaygın endositotik yollarlardır (Şekil 1) (Yee vd., 2021).



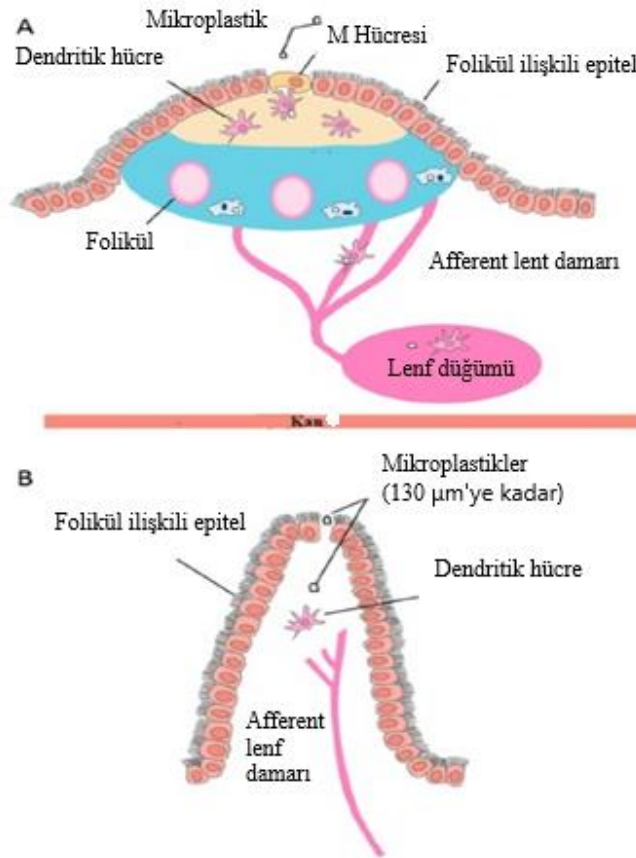
Şekil 1. Plastik parçacıkların hücresel alım yolları (Yee vd., 2021).

Şekil 2, nano- ve mikroplastiklerin potansiyel olarak akciğerlere giriş yollarını ve eliminasyon mekanizmalarını göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, akciğerde mikroplastikler sürfaktan ve mukus ile elimine edilir. Burada mukosilyer klirens $1 \mu\text{m}$ 'den büyük partiküller için olasıdır. Diğer taraftan, $1 \mu\text{m}$ 'den küçük partiküller için epitel boyunca alım mümkündür (B). Bir mikroplastığın aerodinamik çapı, akciğerde daha derinde birikmeye izin veriyorsa daha ince mukus sıvısına nüfuz edebilir ve epitel ile temas ederek difüzyon veya aktif hücresel alım yoluyla yer değiştirebilir. Pulmoner alımı takiben, translokasyon makrofajlar yoluyla torasik lenf düğümlerine ve sistemik dolaşım yoluyla karaciğer, böbrekler, dalak, kalp ve beyin gibi ikincil hedef organlara ulaşabilir (Wright ve Kelly, 2017).



Şekil 2. Akciğerdeki potansiyel mikroplastik alım ve eliminasyon mekanizmaları (Wright ve Kelly, 2017).

Şekil 3, nano- ve mikroplastiklerin gastrointestinal sisteme olası geçiş yollarını göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi, Peyer plaklarının M hücreleri tarafından endositoz yoluyla gastrointestinal bölge lümeninden mikroplastik alımı söz konusudur (A). M hücreleri, partikülleri bağırsak lümeninden mukozal lenfoid dokulara alır ve taşır. Diğer yol ise, gastrointestinal bölge lümeninden paraselüler persorpsiyon yoluyla mikroplastik alımıdır (B). Dendritik hücreler, bu partikülleri fagosite ederek onları alttaki lenfatik damarlara taşır. Karaciğer, kas ve beyin dahil ikincil dokulara dağılım meydana gelebilir (Wright ve Kelly, 2017).



Şekil 3. Gastrointestinal sistemden mikroplastik alımının tahmin edilen yolları (Wright ve Kelly, 2017)

Gastrointestinal bölge boyunca absorpsiyonun ardından yutulan, parçalanamayan mikropartiküllerin eliminasyonu gözlenmiştir. Safra yoluyla eliminasyon, oral uygulamadan birkaç dakika sonra başlarken idrar yoluyla eliminasyon, çoğu ilk 4 saat boyunca olmak üzere maruz kalmanın ilk 8 saati içinde gerçekleşir. Partiküller ayrıca pulmoner alveoller, periton boşluğu, beyin omurilik sıvısı ve süt yoluyla elimine edilir. Ayrıca, PVC partiküllerinin plasenta yoluyla fetal dolaşıma geçtiği bildirilmiştir. İnsan dışkı örneklerinin analizi ile plastik parçacıkların atıldığı gösterilmiştir (Wright ve Kelly, 2017).

Nano- ve mikroplastik partikülleri öncelikle immünolojik olmayan bir yabancı cisim tepkisine neden olur. Partikül hücelere yerleşir ve yabancı cisim granülasyon dokusuna benzeyen hücresel kümelenmelere neden olur. Partiküller, perivasküler lenf boşlukları yoluyla taşınmanın meydana geldiği komşu damarlara da yerleşir. Eklem implantları kaynaklı 0,5 µm-20 µm mikroplastik partikülleri eklem kapsülünün histiyositlerinin sitoplazmasında depolanırken, daha büyük partiküller (100 µm'ye kadar) dokuda hücre dışı olarak yerleşir. Çok miktarda fibrin içeren eklem boşlukları nekroz sergiler ve eklem kapsüllerinde güçlü bir nekrotik eğilim ve skar oluşumu gösterir. İnsanlarda, abdominal lenf düğümlerinde mikroplastik partikülleri (<50 µm) tespit edilmiştir. Lenf düğümlerindeki bu partiküllere karşı



gelişen enflamatuvar yanıtın, makrofajların immün aktivasyonunu ve ilişkili sitokin üretimini içerdiği gösterilmiştir (Wright ve Kelly, 2017).

Çeşitli *in vitro* ve *in vivo* çalışmalarda, nano- ve mikroplastiklerin hücrel hasar, apoptoz, nekroz, enflamasyon, oksidatif stres ve immunolojik mekanizmalar aracılığı ile insan vücudu üzerinde ciddi toksik etkilere neden olabileceği gösterilmiştir (Yee vd., 2021). Nano- ve mikroplastiklerdeki boyalar veya plastikleştiriciler gibi katkı maddelerinin (bütil benzil fitalat ve etil heksil fitalat vb.) karsinojen ve mutajenik etkili olabileceğini gösteren kanıtlar vardır. Plastiklerde insan sağlığını olumsuz etkilediği bilinen bisfenol A (BPA), fitalatlar, triklosan, bisfenon, organotinler ve bromlu alev geciktiriciler gibi toksik kimyasal katkı maddeleri bulunmaktadır. BPA; obeziteye, kardiyovasküler hastalıklara, hormonal bozukluklara ve embriyotoksik etkilere yol açmaktadır. Fitalat esterleri, üreme sisteminde ve embriyo gelişiminde anormalliklere ve erken doğuma sebep olmaktadır. Ayrıca fitalatlar, ev tozunda ve anne sütünde tespit edilmiştir. Özellikle çocuklarda fitalat düzeyi ile astım ve alerji oluşumu arasında bir ilişki olduğunu gösteren bazı kanıtlar mevcuttur (Yee vd, 2021; Blackburn ve Green, 2022).

Atmosferde kolayca solunabilen mikroplastikler olduğunu gösteren birçok çalışma yapılmıştır. Lifli mikroplastiklerin solunum sisteminden temizlenebileceği düşünülmektedir, ancak özellikle klirens mekanizmaları zayıf olanlarda, inflamatuvar yanıtlara ve hatta solunum lezyonlarına neden olabileceği düşünülmektedir. Bir tümörün çıkarılması için akciğer rezeksiyonu uygulanan hastalardan alınan 114 akciğer doku örneğinden %87'sinin selülozik veya plastik lifler içerdiği gözlenmiş ve bu küçük liflerin solunabilir olduğu ve dolayısıyla akciğerde biriktiği gösterilmiştir. Mikroplastik liflerine mesleki olarak maruz kalmanın solunum yolu iritasyonuna ve bazı kanserlere neden olabileceği saptanmıştır. Bununla birlikte, sentetik liflerin solunması sırasında akciğer üzerinde olası olumsuz sağlık etkileri hakkında çok az araştırma yapılmıştır (Blackburn ve Green, 2022).

Ayrıca *ex vivo* insan plasental perfüzyon modelinde 240 nm'ye kadar büyüklüğü olan plastik partiküllerinin plasenta bariyerini geçebildiği ancak plasenta eksplantının canlılığını etkilemediği rapor edilmiştir (Blackburn ve Green, 2022).

Bakterilerin deniz ortamında mikroplastik yüzeylerinde hızla kolonize olabildiği ve ayrıca mikrobiyal biyofilmler oluşturduğu gösterilmiştir. Potansiyel olarak patojenik *Vibrio* spp.'nin Kuzey ve Baltık Denizi'nden alınan su örneklerinde yüzen mikroplastiklerde varlığının tespiti, mikroplastiklerin patojenlerin yayılması için vektörler olarak işlev görebileceğine işaret etmektedir. Mikroplastiklerde bulunan bakteri sayılarının sudakinden 100-500 kat daha yüksek olduğu saptanmıştır. Antibiyotikler kontamine sularda mikroplastiklere tutunabilir ve bunların uzun mesafelere taşınmasına neden olabilir. Benzer şekilde, sentetik hormon türleri olan 17 β -estradiol ve 17 α -etinilestradiolün mikroplastiklere kolayca adsorbe olacağı bildirilmiştir (Blackburn ve Green, 2022).



Nano- ve Mikroplastik Analiz ve Tanımlama Teknikleri

İnsanların maruz kaldığı mikroplastikler, hava ve su gibi çevresel kaynaklarda olduğu gibi gıda ve içeceklerde de bulunabilmektedir. Kaynak fark etmeksizin mikroplastiklerin analizi; örnek alma, izolasyon (veya ayırma), tanımlama, sınıflandırma ve kantifikasyon aşamalarından meydana gelmektedir (Shim vd., 2017). Bununla birlikte, gıdalardan ya da çevresel kaynaklardan örnek alma prosedürlerinde farklılıklar söz konusudur. Gıdalarda analiz yapmadan önce gıda numunesinin parçalanması (örnekte kimyasal ve enzimatik ön işlemler) gerekmektedir. Gıda numunesine uygulanacak ön işlemler; polimerin korunması, doğru veri elde edilebilmesi ve mikroplastiklerin başarılı şekilde tanımlanabilmesi için oldukça önemlidir (Guo vd., 2022).

Mikroplastik analizinin tüm aşamalarında çevreden plastik kontaminasyonuna yol açmamak ve analizin güvenliğini riske atmamak için yaşanabilecek her türlü olumsuzluğun önüne geçilmesi gerekmektedir. Mikroplastik analizinde standart bir prosedür olmasa da sonuçların güvenilir ve tekrarlanabilir olması için bazı önerilerde bulunulmuştur (Braun vd., 2018). Bu öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Tüm analitik adımlar sırasında, “plastiksiz” veya düşük plastik içeren çalışma koşulları sağlanmalıdır. Bunun için, standart plastik ürünlerinin kullanımından kaçınılmalı ve metal, cam veya silikon gibi alternatif malzemelerden yapılmış ürünler tercih edilmelidir.
- Mümkünse numuneler, özellikle su içeren numunelerin hazırlanması ve partikül sayılarının belirlenmesi işlemleri laminar akış kabinlerinde gerçekleştirilmelidir.
- Numunelerde ön bir mikrobiyal inaktivasyon işleminin gerekli olup olmadığı önceden belirlenmelidir. Örneğin sterilizasyon; atık su, arıtma çamuru ve organik atıklar gibi kuru numunelerin analizi için standart bir öneridir.
- Ölçüm ve analizler, plastik içermeyen veya düşük plastik içeren bir çalışma ortamında yapılıyor olsa dahi tüm analitik adımlar, benzer ve karşılaştırılabilir koşullar dikkate alınarak yapılmalı ve kaydedilmelidir.
- Numune alma, hazırlama ve tespit sırasında kontaminasyon (hava kaynaklı partiküller ile kontaminasyon) kolayca meydana gelebileceğinden, uygulanan tespit yöntemlerinde kör numune de yer almalıdır. Bu amaçla, her partikül sayımı sürecinde (numune hazırlama dahil) kör numune analizinde üçlü tekrar şiddetle tavsiye edilir. Termal analiz yöntemleri için çift tekrar önerilir.
- Tüm analitik adımlarda, tanımlanmış referans malzemeler (farklı polimer türleri/yoğunlukları, parçacık boyutları ve şekillerinin mikroplastik için parçacık sayısı ve/veya kütlesi) kullanılarak geri kazanım oranları belirlenmelidir. Bu, uygun referans malzemelerle gerçek numuneler eklenerek veya uygun referans karışımlarda geri kazanım oranları belirlenerek yapılabilir.
- Örnek alımı ve analiz sırasında uygulanacak ultrason uygulaması ve kimyasal işlemler gibi tüm aşamalarda, polimerlerin partikül kararlılığının araştırılması



gerekir. Polimer tipine, partikül boyutlarına ve yaşlanma durumuna bağlı olarak büyük partiküllerin bozunması ve/veya parçalanması söz konusu olabilir.

- Sonuçlar standardize edilmiş olmalıdır. Örneğin partikül sayısı adet/L (sıvı numuneler) veya adet/kg (katı numuneler) şeklinde, partikül ağırlığı $\mu\text{g/L}$ veya mg/kg şeklinde sunulabilir.
- Mikroplastik analizlerinin boyutlarına göre sınıflandırılması önerilir. Örneğin: 5.000-1.000 μm , <1.000-500 μm , <500-100 μm , <100-50 μm , <50-10 μm , <10-5 μm , <5-1 μm .

Örnek alma: Sudaki mikroplastik analizi için numune alma stratejileri farklı su türleri arasında değişiklik arz eder. Şişelenmiş sulardan genellikle tüm şişeler/paketler halinde numune alınır ve alınan numuneler işleme tabi tutulmaksızın laboratuvara getirilir (Oßmann vd., 2018; Schymanski vd., 2018; Kankanige ve Babel, 2020). Buna karşılık musluk suları, cam şişe numune kaplarına belirli hacimde alınır veya özel filtre kartuşları kullanılabilir (Pivokonsky vd., 2018; Mintenig vd., 2019; Johnson vd., 2020; Shruti vd., 2020; Kirstein vd., 2021; Pittrof vd., 2021). Örnekte beklenen mikroplastik konsantrasyonu örnek alım miktarında önemli bir parametredir. Düşük mikroplastik konsantrasyonlarına sahip olması beklenen sularda (örn. musluk suyu), temsili sonuçlar elde etmek için daha yüksek mikroplastik konsantrasyonuna sahip sulara göre daha yüksek örnekleme hacmi gereklidir (Koelmans vd., 2019). Matriksin karmaşıklığı, partikül boyutu ve dağılımına bağlı olarak numune hacmi değişim gösterir. Parçacık boyutu küçüldükçe dağılım artar, dolayısıyla da küçük partiküller numunede büyük partiküllere göre daha yaygın dağılım göstereceğinden daha küçük numune hacimleri yeterli olacaktır (Mintenig vd., 2019; Johnson vd., 2020; Kirstein vd., 2021; Pittrof vd., 2021). Bu nedenle, daha küçük mikrometre boyut aralığındaki parçacıkların temsili örnekleme için genellikle daha düşük bir örnek hacmi gerekir. İdeal olarak her bir kaynaktan üç numune alınmalı ve analiz edilmelidir (Brander vd., 2020).

Gıdaya uygulanan ön işlemler: Gıdalarda mikroplastik analizi için örnek alındığında, filtrasyondan önce gıda matrisindeki organik maddeyi uzaklaştırmak için genellikle kimyasal veya enzimatik ön işlem uygulanır. Bu aşamada, analiz edilecek mikroplastiklerin yok olmaması veya zarar görmemesi için en uygun parçalama yönteminin seçilmesi önemlidir. Bu amaçla, asidik sindirim, alkali sindirim, oksidasyon ve enzimatik sindirim gibi teknikler uygulanabilmektedir (Guo vd., 2022).

İzolasyon (avırma): İçme suyu ve içecek gibi sıvı örneklerden pasif yüzdürme ve filtrasyon gibi temel tekniklerle mikroplastik izolasyonu yapılabilir. Bununla birlikte, pasif yüzdürme, küçük parçacıkların düşük kaldırma kuvvetinin yanı sıra yüzdürme ortamının yüzeyindeki küçük parçacıkların taşınmasındaki zorluk nedeniyle kolay uygulanabilir bir teknik değildir. Filtre membranlar kullanılarak sıvı örneklerden mikroplastiklerin izolasyonu daha uygundur. Filtrasyonda itici güç olarak sadece yerçekiminden faydalanılabileceği gibi vakum pompası yardımıyla daha hızlı bir filtrasyon gerçekleştirilebilir. Sıvı numune, filtre ortamından geçirildikten sonra hedeflenen mikroplastik fragmanlar filtrenin membranında tutulur. Süt, bal ya da yağ gibi yüksek viskoziteli sıvılar için ısıl işlem uygulaması, sıvıların



viskozitesini azaltarak filtrasyon işleminin hızını artırması açısından avantaj sağlar (Kutralam-Muniasamy vd., 2020).

Tespit, tanımlama ve kantifikasyon: Numunelerde mikroplastiklerin tespiti için en temel ve yaygın yaklaşım çıplak gözle veya mikroskop yardımıyla gözlemdir. 1-5 mm boyut aralığındaki büyük mikroplastiklerin (üretim öncesi reçine peletleri) tanımlanması için genellikle çıplak gözle görsel ayırma yeterli olsa da mikroplastiklerin yaygın çevresel varlığı ve nano- ve mikro- boyutlu plastiklerin olumsuz biyolojik etkileri etkin bir risk değerlendirmesinin yapılabilmesi için mümkün olan en küçük boyutta ölçüm yapılmasını gerektirmektedir. Bunun yanı sıra, mikroplastiklerin geniş boyut aralığı ve çeşitliliği, farklı renklere sahip olması gibi birçok varyasyon, veri sınıflandırma ve karşılaştırmada zorluklara neden olmaktadır.

Görsel tanımlama, özellikle donanımlı cihazların bulunmadığı ve yüksek hacimli numunelerde çalışıldığı durumlar için uygun bir yöntemdir. Görsel tanımlamada analist, numune matrisi, mikroplastik partikülü ve mikroskobun özellikleri analizi etkileyen önemli faktörlerdir. Ayrıca, zamana veya kaynağa bağlı olarak mikroplastiklerdeki bozunma dış görünüşlerinde bazı değişikliklere sebep olabilir ve bu durum görsel tanımlamayı zorlaştırabilir.

Mikroplastiklerin tespiti ve tanımlanmasında görsel tanımlama genellikle yetersiz kalmakta ve çoklu analitik teknikler kullanılmaktadır. Plastiklerin fiziksel (boyut, şekil ve morfoloji) ve kimyasal (bileşim, fonksiyonel kısımlar ve kimyasal sınıf) özellikleri analiz için önemli parametrelerdir. Mikroplastik analizlerinde tüm bu özellikleri tutarlı bir şekilde ölçen tekniklerin birlikte uygulanması gerekir. Tek bir analitik yöntem kullanarak her iki özelliğin de tanımlanmasını sağlamak çok zordur.

Mikroplastiklerin düşük boyut aralıklarında tespiti için stereomikroskoplar, taramalı elektron mikroskobu, Raman spektroskopisi ve Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) tercih edilmektedir (Tablo 1). Ayrıca, daha çok miktar tayini amacıyla atomik kuvvet mikroskobu tabanlı kızılötesi spektroskopisi (Atomic Force Microscopy Based Infrared Spectroscopy, AFM-IR), matris destekli lazer desorpsiyon/iyonizasyon uçuş süreli kütle spektrometrisi (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight, MALDI-TOF), piroliz gaz kromatografisi kütle spektrometrisi (Pyrolysis Gas Chromatography-Mass Spectrometry, Pyr-GC-MS), sıvı kromatografisi-tandem kütle spektrometrisi (Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry, LC-MS/MS) teknikleri de kullanılmaktadır. Kromatografik/spektroskopik yöntemlerde optimum tanımlama için kimyasal ve fiziksel özelliklere dayalı kütüphanelerin geliştirilmesi son derece önemlidir. Böylece, analiz sırasında sinyallerin hızlı bir şekilde çözülmesi sağlanabilir ve genel yorumlama ve veri toplama süreci kolaylaşabilir.



Mikroplastikler

Tablo 1. Farklı kaynaklarda mikroplastiklerin analizi için sıklıkla kullanılan teknikler

Teknik	Avantajları	Dezavantajları
Kütle spektrometrisi ile termal analiz	<ol style="list-style-type: none"> 1. Termal bozunma davranışını kullanarak kolay tanımlanması 2. Analizin ön işlem gerektirmemesi 3. Düşük örnek gereksinimi (5-200 µg) 4. Kütle spektrometrisi (MS) ile termal ekstraksiyon ve desorpsiyon (TED) kullanılarak birden fazla numunede aynı anda tanımlama yapılabilmesi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Örneğin parçalanması 2. Numunelerin fiziksel karakterizasyonuna izin vermemesi 3. Pahalı olması
Raman spektroskopisi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tahribatsız spektroskopik yöntem olması 2. Rotasyonel ve vibrasyonel etkileşimlerinin kullanılması 3. Farklı çevresel matrislerdeki mikroplastikler için yapısal parmak izinin sağlanması 4. Dakikalar içinde tanımlamanın gerçekleşebilmesi 5. Diğer gelişmiş analitik tekniklerle (örn. konfokal mikroskopi, atomik kuvvet mikroskobu) kullanıldığında daha iyi görsel analizin sağlanabilmesi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Analiz öncesi ön işlem veya saflaştırma gerektirmesi 2. Analiz öncesi standardizasyon gerektirmesi 3. Analiz ve yorumlama için uzman personel gerektirmesi
Kızılötesi spektroskopisi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mikroplastikler ve farklı matrisler arasındaki fizikokimyasal etkileşimlerin belirlenebilmesi 2. Oldukça spesifik ve tanımlaması zor plastik parçacıkların karakteristik bant modellerini sağlayabilmesi 3. Raman spektroskopisini tamamlayıcı bir teknik olması ve kıyaslama imkanı sağlayabilmesi 4. Odak düzlemi dizisi (FPA) tabanlı FTIR ve zayıflatılmış toplam yansıma (FTIR-ATR) gibi diğer işlevleri barındırabilmesi 5. Taşınabilir tiplerinin olması 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Şüpheli plastiklerin tanımlanması halinde zaman ve maliyette artma 2. Organik matrislerin plastik spektrumlarının yanlış tanımlanmasına sebep olması 3. Daha iyi analiz ve sonuçların eldesi için kuru örnek gerektirmesi



Mikroplastikler

Mikroskop eşliğinde gözlem	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ucuz olması 2. Gerçekleştirmesinin kolay olması 3. Yüksek miktarda mikroplastik içeren numunelerde detaylı analizlere öncelik sağlanabilmesi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fazla veya eksik tahmine yol açabilmesi 2. Kimyasalın türü hakkında veri elde edilememesi
Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Oldukça geniş partikül boyutu skalasında tayin imkanına sahip olması 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uygulama esnasında kullanılan kimyasallar ve kaplama materyallerinin yanlış değerlendirme ve hassasiyette azalmaya yol açabilmesi 2. Pahalı ve bakım masraflarının yüksek olması 3. Kalifiye eleman gereksinimi 4. Ön hazırlık gerektirmesi
Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ayırt edici spektrum zenginliğine sahip olması 2. Referans spektrumlar ile geniş kütüphane oluşturulabilme imkanı sunması 3. Atmosfer ve toz tayinine imkan sağlaması 4. Mikroplastığın tahribatına sebebiyet vermemesi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yüksek sermaye gereksinimi 2. Kimyasal sindirim sürecinin olması 3. Spektral kayma (özellikle düzensiz şekilli mikroplastiklerde) 4. Nemin analizi olumsuz etkilemesi, nemli materyallerin analiz edilememesi 5. Mikroplastığın bozulması



Nano- ve Mikroplastikler ile İlgili Ülkemizde Yapılan Çalışmalar

Tüm dünyada olduğu gibi mikroplastik konusu Türkiye’de de son yıllarda ilgi çekmiş ve araştırmaların konusu olmuştur. YÖK Tez Merkezinde mikroplastik üzerine yapılmış toplam 52 adet yüksek lisans/doktora tezi bulunmaktadır. TÜBİTAK proje veri tabanında farklı bilimsel alanlara ait 10 adet mikroplastik konulu proje sonuç raporu yer almaktadır. Yapılan taramada ise yaklaşık 90 adet bilimsel makaleye/bildiriye rastlanmıştır. Yayımlanmış makalelerin bir kısmının proje ve tez çalışmalarından elde edilen bulgulardan çıkarıldığı görülmüştür. Ülkemizde yapılmış tüm bu çalışmaların 2016 yılı ve sonrasında yayımlandığı görülmektedir. Tablo 2’de ülkemizde yapılmış çalışmaların kapsamı özet olarak verilmiş olup Tablo 3’te ise deneysel araştırmalar özetlenmiştir.

Tablo 2. Mikroplastikler üzerine Türkiye’de yapılmış saha araştırmaları ve gözlemler.

Çalışma Konusu	TÜBİTAK Projesi	Yüksek Lisans/Doktora Tezi	Makale/Bildiri
Alkolsüz içecekler			1
Hazır su ve maden suyu			1
Sofra tuzu		2	2
Poşey çay ve şeker	1	2	
Çiğ süt		1	
Yoğurt			1
Ayran			1
Konserve balık			1
Balıklar		4	11
Zooplanktonlar	2		1
Midyeler		1	6
İstiridye			1
Yengeçler			2
Kerevit			2
Karides			1
Deniz salyangozu		1	
Su yılanı			1
Denizatı			1
Atık sular ve arıtma tesisleri	2	13	9
Göller/barajlar/yüzey suları/tatlı sular		10	8
Denizler	6	12	31
Çöp depolama alanları sızıntı suyu			1
Toprak	1	1	2
Kar			1
Şehir atmosferi		5	
Diş fırçası			1



Tablo 2’de görüldüğü gibi yapılan saha araştırmalarının önemli bir kısmı sucul ortamların (denizler, akarsular, göller, barajlar vs.) mikroplastik kirliliğinin tespiti üzerinedir. Yapılan araştırmalar, ülkemizin tatlı su ya da deniz suyu fark etmeksizin su kaynaklarının ciddi bir mikroplastik kirliliği tehdidi altında olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular mevcut mikroplastik kirliliği mevsim ve coğrafi bölge gibi koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterse de dünyanın farklı coğrafyalarındaki su kaynaklarında yapılan analiz sonuçlarıyla benzerlik arz etmektedir. Marmara Denizi’nin mikroplastik kirliliğinin, özellikle de güney İstanbul sahillerinin mevsimsel varyasyonlar söz konusu olmakla birlikte Karadeniz ve Ege Denizi’ne göre daha yüksek olduğu ifade edilmektedir (Tunçer vd., 2018; Sönmez vd., 2023). Su kaynaklarının mikroplastik kirliliği; atık suların deşarjı, antropolojik, endüstriyel ve turistik faaliyetler, popölasyon yoğunluğu, avlanma ve denizcilik faaliyetleri gibi birçok etmeden kaynaklanmaktadır. Örneğın, yerleşim bölgelerinden gelen kanalizasyon suları; kişisel bakım ürünleri, atık su veya inşaat imalat malzemelerine ait mikro boncuklar ve sentetik lifler içerir (Qiu vd., 2020; Erkan vd., 2021; Üstün vd., 2022). Mikroplastikler, bu tür kanalizasyon sularının deşarjı yoluyla uzak bölgelerdeki su kütlelerine ulaşabilir. Yağmur suları, rüzgar ve akarsular da denizlere mikroplastik taşınımında rol oynamaktadır.

Su kaynaklarında ve şehir atık sularında yer alan mikroplastiklerin morfolojik yapısı, kaynağı hakkında fikir vermektedir. Örneğın, fragman tipindeki mikroplastikler, kişisel bakım ürünlerinde yoğun olarak bulunmakla birlikte insan faaliyetleri ve büyük plastik parçalarının dekompozisyonu ile oluşmaktadır. Fiber tipindeki mikroplastikler, tekstil ürünlerinden ve turizm faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Atık suyun içerisindeki mikroplastiklerin tipleri ilgili alandaki nüfus yoğunluğu ve endüstriyel faaliyetlerden oldukça etkilenmektedir.

Atık su arıtma tesislerinin mikroplastik giderme oranları suların mikroplastik kirliliği üzerinde büyük etkiye sahiptir. Yapılan araştırmalar, ülkemizin farklı bölgelerinde yer alan belediyelere ait atık su arıtma tesislerinin mikroplastik giderme oranlarının değişken olduğunu ve genel olarak %40 ile %99 arasında değiştiğini göstermektedir (Gündoğdu vd., 2018; Akarsu vd., 2020; Vardar vd., 2021; Üstün vd., 2022; Kara vd., 2023; Koyuncuoğlu ve Erden; 2023; Sari Erkan vd., 2023). Bazı bölgelerde ise atık sular herhangi bir arıtmaya tabi tutulmadan deşarj edilmekte, bu da sulara ciddi düzeyde mikroplastik taşınmasına neden olmaktadır.

Ülkemiz su kaynaklarından avlanan ya da buralarda yetiştirilen balık ve midye gibi deniz canlılarının gastrointestinal bölgelerinde mikroplastik tespiti üzerine de önemli sayıda çalışma yer almaktadır. Balıkların gastrointestinal sistemlerinde tespit edilen mikroplastiklerin kaynakları konusunda kesin bir kanıt bulunmamakla birlikte bunlar büyük ihtimalle yutma (beslenme) yoluyla vücuda girmektedir. Bazı çalışmalar, solungaç bölgesinden de mikroplastik girişinin olduğunu iddia etmektedir. Balıkçılık aktivitelerinde uygulanan beslenme stratejileri balıkların yuttukları mikroplastiklerin tür ve miktarını etkilemektedir. Balıkta tespit edilen fiber tipi mikroplastikler; ağlardan ve diğer malzemelerden gelebileceği gibi diğer kaynaklardan da (çamaşır makineleri, tekstil endüstrisi, liman endüstrisi, nehir/nehir ağzı balıkçılığı) gelmiş olabilir. Su ortamında yaşayan organizmaların seçici olarak daha fazla renkli plastik parçacıkları tükettikleri tespit edilmiştir.



Genellikle balığın tipi ve boyutu ile yuttuğu mikroplastik boyutu arasında bir korelasyon bulunmamaktadır. Bununla birlikte, balıkların yaşadıkları suların mikroplastik yükü arttıkça balıklardan izole edilen mikroplastik sayısı artmaktadır. Farklı çalışmalarda balıklarda tespit edilen mikroplastik kirlilikleri oldukça değişkendir. Karadeniz bölgesinde avlanan balıklarda mikroplastik kirliliği genel olarak Ege, Marmara ve Akdeniz balıklarına kıyasla daha düşüktür (Gündoğdu vd., 2020). Bu bulgunun denizin mikroplastik yükü ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Midye ve istiridye gibi çift kabuklular doğal ortamlarda yetiştirilir ve üretim alanları genellikle kıyıya yakındır. Bu yüzden bu canlılar mikroplastik ve diğer parçacıklar dahil olmak üzere birçok kirlenmeye maruz kalır. Ayrıca midye dolmaları uygun olmayan üretim koşulları sırasında da mikroplastiklere maruz kalabilirler. Ülkemizde midyeler üzerinde yapılan çalışmalar literatür ile benzer sonuçlar vermiştir.

Türkiye piyasasında satılmakta olan ticari deniz tuzu, kaya tuzu ve göl tuzu örneklerinin mikroplastik kirliliği üzerine yapılan çalışmada, deniz tuzunun mikroplastik kirliliği bakımından en yoğun grup olduğu ifade edilmektedir (Gündoğdu, 2018). Kayatuzu, olası mikroplastik kontaminasyon kaynağının sadece üretim prosesi olması nedeniyle en az mikroplastik içeren tuz çeşididir. Türkiye’de bulunan göl tuzu üretim alanları özel koruma bölgeleri olduğu için insan aktivitelerinden kaynaklanan mikroplastik kirliliği yönünden avantajlıdır. Bununla birlikte, rüzgâr ve akarsu gibi faktörler yerleşim yerlerinden bu göllere plastik taşınmasına neden olmaktadır.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de insanların gıdalar yoluyla mikroplastiklere maruz kalması üzerinde yapılmış çalışmalar içme suları, gıdalar ve içecekler üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun yanı sıra poşet çaylar ve yoğurttan da mikroplastik kirliliği üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar, içecek ve gıdaların insanların mikroplastiklere maruz kalmasında önemli bir yol olabileceğini göstermektedir. Gıdalarda ve içeceklerde bulunan mikroplastiklerin kaynakları; hammaddeler, ambalaj malzemeleri, proses alanında bulunan plastik valf, boru gibi ekipmanlar ile proses alanında kullanılan plastik esaslı diğer malzemeler olarak sıralanabilir.

Sular üzerinde yapılan çalışmalarda, doğal kaynak sularına kıyasla maden sularında daha yüksek boyutlu ve yüksek sayıda mikroplastik varlığı tespit edilmiştir (Altunışık, 2023). Alkolsüz içeceklerde de yüksek mikroplastik bulunma riski söz konusudur. Tüketilen her bir litre alkolsüz içecek ile insanların ortalama 9 adet mikroplastığa maruz kaldığı bildirilmektedir (Altunışık, 2023).

Çiğ süt ve işlem görmüş sütlerde farklı tip ve geometrilerde mikroplastikler bulunabilmektedir. Çiğ sütlerde bulunan mikroplastiklerin kaynağının birinci derecede sağım ekipmanı olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında, sağım sırasında oda havasından, sağım makinesinin dört emziğine takılı titreşimli vakumlu kauçuk kaplı emzik kaplarından, süt toplama tesislerinde polietilenden yapılmış boru hatlarından, malzeme torbalarından, önlüklerden, eldivenlerden ve plastikten yapılmış diğer kaynaklardan da mikroplastik geçişinin



Mikroplastikler

olabileceği ifade edilmektedir. İçme sütleri için bu kaynaklara proses ekipmanları ve ambalaj malzemeleri de dahil edilebilir. İçme sütü için yapılan mikroplastik risk analizine göre ülkemizde 15 yaş ve üstü kişiler günlük, yıllık ve yaşamları boyunca sırasıyla 0,21; 77 ve 5.289 adet mikroplastığa maruz kalmaktadır (Başaran vd., 2023).

Yoğurt ve ayranın da mikroplastik varlığı riski olan gıdalar arasında olduğu gösterilmiştir. Bu ürünlerde bulunan mikroplastiklerin kaynaklarının çiğ süt, ambalaj malzemeleri, plastik boru ve valfler ile üretim alanında bulunan diğer plastik alet-ekipmanların olabileceği ifade edilmektedir. Tankerler ve boru hatlarını temizlemede kullanılan su ve deterjan kalıntıları mikroplastik yükünü artırabilir. Ayrıca kullanılan tuzun da mikroplastik kaynağı olabileceği belirtilmektedir (Zipak vd., 2022; Buyukunal vd., 2023).

Tablo 3. Mikroplastikler üzerine Türkiye’de yapılmış deneysel araştırmalar.

Çalışma Konusu	TÜBİTAK Projesi	Yüksek Lisans/Doktora Tezi	Makale/Bildiri
Mikroplastiklerin pestisit ve farmasötik adsorpsiyonu	1		
Mikroplastiklerin deniz alg canlılığı üzerine etkileri	1		
Mikroplastik-gıda etkileşimi		1	
Mikroplastiklerin sucul mikrobiyota üzerine etkileri		1	
Mikroplastik-böcek bağışıklık etkileşimi		1	
Mikroplastik-midye fizyolojik etkileşimi		1	
Mikroplastiklerin ağır metal adsorpsiyonu		1	
Mikroplastiklerin genotoksik ve sitotoksik etkileri			1
Mikroplastiklerin bakteriyel degradasyonu			1
Atık suyundaki mikroplastiklerin elektrokoagülasyonu ve elektroflotasyonu			2

Tablo 3’te görüldüğü gibi mikroplastiklerin çeşitli organizmalarla etkileşimi, sitotoksik-genotoksik etkileri, gıdalarla etkileşimi, toksik madde absorpsiyonu ve atıklardan giderilmesi gibi konularda çeşitli projeler ve tez çalışmaları yürütülmüş, yapılan çalışmalar sonucunda 4 adet bilimsel makale çıkarılmıştır. Bu çalışmaların sayısının nispeten az ve farklı disiplinlerde



Mikroplastikler

yer aldığı görülmektedir. Yapılan araştırmalar mikroplastiklerin ağır metaller ve pestisitler gibi toksik maddeleri adsorbe edebildiğini ve zooplanktonlar, midyeler, balıklar ve algler gibi çeşitli canlılar vasıtasıyla besin zincirine katılması ile organizmaları doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyebildiğini göstermiştir. İnsan vücuduna giren polietilen mikroplastikleri ise insan periferik lenfositleri üzerinde mikronükleasyon (MN), nükleoplazmik köprü oluşumu (NPB) ve nükleer tomurcuk oluşumu (NBUD) frekanslarını artırarak genotoksik etki sergileme potansiyeli taşımaktadır.



DEĞERLENDİRME

1950’li yıllardan itibaren başlayan plastik kullanımının doğal sonucu olarak 5 mm’den küçük plastik parçacıkları olarak bilinen mikroplastikler hayatımıza girmiştir. Mikroplastikler, çevrede yaygın olmakla birlikte soluduğumuz havada, yediğimiz yemekte, içtiğimiz suda dahi bulunabilmektedir. Ayrıca, kişisel bakım ürünleri ve deterjan gibi evsel kullanım ürünleri, kasıtlı olarak ilave edilmiş mikroplastikleri içerebilmektedir.

İnsanların mikroplastiklere maruz kalma değerlendirmelerine yönelik çok sayıda bulgu mevcut olmasına rağmen bu tür maruz kalmanın oluşturduğu riske dair bir değerlendirme bulunmamaktadır. Bazı araştırmalarda, okyanuslar, denizler, şehirler, topraklar ve organizmalar gibi farklı ekosistem ve çevrelerde risk değerlendirmeleri yapılmış olsa da (Everaert vd., 2018; Everaert vd., 2020; Al Nahian vd., 2022) bu çalışmalar sınırlı bir ekosistemi temsil etmektedir. İnsanların gıdalar ve içecekler yoluyla mikroplastiklere maruz kalması konusunda dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmaların sayısı gittikçe artmaktadır. Bu çalışmalarda, insanların analiz edilen kaynaktan günlük/yıllık olarak veya ömür boyunca tahmini olarak ne kadar mikroplastığe maruz kaldıklarına yönelik değerlendirmeler bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu çalışmaların sayılarının yetersizliği ve henüz günlük olarak tüketilen tüm gıda/içeceklerden mikroplastik alımı hakkında yeterli bilgi bulunmamasından dolayı insanların toplamda ne kadar mikroplastığe maruz kaldıkları belirsizdir.

Üstelik mikroplastiklerin toksikokinetiği ve toksik etkileri hakkında daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bu noktada, mevcut bilimsel kısıtlılıklar nedeniyle gıdalarda bulaşan olarak mikroplastikler ve nanoplastikler için henüz bir mevzuat bulunmamaktadır (EFSA, 2016; BfR, 2020).

Diğer taraftan, insanların sadece gıda ve içecekler yoluyla değil farklı kaynaklardan da mikroplastiklere maruz kalabilmesi, maruz kalmadaki varyasyonlar, mikroplastiklerin çeşitliliği, boyut ve şekillerindeki farklılıklar, ağır metaller ve pestisitler gibi kontaminantların taşıyıcısı olmaları ihtimali, mikroplastiklerin izolasyon, tespit, tanımlama, sınıflandırma ve kantifikasyonunda farklı yöntemlerin kullanılması gibi hususlar mikroplastiklerle ilgili risk değerlendirmesi yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, mikroplastiklerin çevreye yayılışından ve insan sağlığına verdikleri potansiyel zararlardan dolayı azaltılmasına yönelik yasal düzenlemeler bulunmaktadır. Örneğin, cilde ve saça uygulanan plastik mikrobuncuk içerikli (primer mikroplastikler) kozmetik ürünlerinin üretimi ve dağıtımı 2015’te kabul edilen yasa ile Amerika Birleşik Devletleri’nde yasaklanmıştır. Bu yasa, reçetesiz satılan ilaçları ve diş macunlarını da içermektedir (Microbead-Free Waters Act, 2015). Diğer taraftan, Avrupa Komisyonu da 30 Ağustos 2022’de, çeşitli ürünlere kasıtlı olarak ilave edilen mikroplastiklerin (primer mikroplastikler) kullanımını sınırlandırmak için bir taslak öneri sunmuştur. Bu öneri, ürünlere kasıtlı olarak kullanılan ve çevreye salımla sonuçlanabilecek 5 mm’nin altındaki sentetik polimer mikropartikülleri ve 15 mm’nin altındaki fiber benzeri partiküllerin kullanımının kısıtlanmasını içermektedir. AB üye ülke otoritelerinin değerlendirmeleri ve sonrasında Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Komisyonunun da incelemesi ile bu tasarı 25 Eylül 2023’te kabul edilmiştir. İlk tedbir, kozmetik amaçlı ışılı parçacıkların (glitter) ve



Mikroplastikler

mikroboncukların satış ve kullanımının, yasanın yürürlüğe girdiği 17 Ekim 2023 tarihinden itibaren yasaklanması ile gerçekleşmiştir. Diğer kasıtlı olarak ilave edilen mikroplastiklere getirilen yasak ise, etkilenen paydaşlara alternatifleri geliştirmeleri ve bunlara geçmeleri için zaman tanımak amacıyla ileriki bir zamanda uygulamaya konulacaktır. Bu yasa ile, parfümler için 6, rujlar için 12 yıllık bir geçiş süresi öngörülmekte ve mikroplastiklerin kozmetikte, temizlik ürünlerinde, pestisitlerde ve spor alanlarında kullanımı yasaklanarak çevreye ve insana mikroplastik bulaşmasının azaltılması amaçlanmaktadır (ECHA, 2023).



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mikroplastikler, küresel çevre sağlığını tehdit eden sorunlardan biridir ve iklim değişikliğinde rol oynamaktadır. Plastiklerin endüstriyel avantajları ve artan kullanım alanları nedeniyle kullanımının sınırlandırılması ya da yasaklanması kısa vadede mümkün görünmemektedir. Ancak bu plastikler zamanla mikroplastiklere ve nanoplastiklere dönüşerek besin zincirine katılmakta, çevre ve insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. İnsan vücuduna giren mikroplastiklere uzun süreli maruz kalınmasının etkileri henüz gözlenmemiş olmakla birlikte pek çok sucul organizma ve *in vitro* araştırma bulgusu mikroplastiklerin ciddi sağlık sorunlarına yol açabileceğine işaret etmektedir. Mevcut görüş kapsamında yapılan kapsamlı literatür taramaları sonucunda;

- Sentetik plastiklerin kullanımının azaltılması ve çevre dostu alternatiflerinin geliştirilmesine yönelik çalışmaların yaygınlaştırılması,
- Mikroplastiklerin tespitinde örnek hazırlama, filtrasyon ve analiz yöntemlerinin geliştirilmesi ve ülkemizde bu yöntemlerin kullanımı için gerekli alt yapı olanaklarının oluşturulması ve yaygınlaştırılması,
- Ülkemizde tüketime sunulan gıda ürünlerinde nano- ve mikroplastiklerin (özellikle <math><150\ \mu\text{m}</math>) güvenilir analitik yöntemlerle tespitine yönelik çalışmaların gerçekleştirilmesi,
- İlgili kurum ve kuruluşlar tarafından düzenlenecek bilinçlendirme programlarıyla toplumda mikroplastiklere bağlı çevre ve sağlık endişelerine yönelik farkındalığın oluşturulması önerilmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Akarsu C., Kumbur H., Gökdağ K., Kıdeyş A. E., Sanchez-Vidal A., 2020. Microplastics composition and load from three wastewater treatment plants discharging into Mersin Bay, north eastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110776.
- Al Nahian, S., Rakib, M. R. J., Haider, S. M. B., Kumar, R., Mohsen, M., Sharma, P., & Khandaker, M. U., 2022. Occurrence, spatial distribution, and risk assessment of microplastics in surface water and sediments of Saint Martin Island in the Bay of Bengal. *Marine Pollution Bulletin*, 179, 113720.
- Altunışık A. , 2023. Prevalence of microplastics in commercially sold soft drinks and human risk assessment. *Journal of Environmental Management*, 336, 117720.
- An L., Li, Q., Deng Y., Wu W., Gao Y., Ling W., 2020. Sources of microplastic in the environment. *Microplastics in Terrestrial Environments*, 143-159, Springer Publishing, İsviçre.
- Başaran B., Özçifçi Z., Akçay H. T., 2023. Microplastics in branded milk: dietary exposure and risk assessment. Erişim linki: <https://ssrn.com/abstract=4466231> veya <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4466231>.
- BfR (German Federal Institute for Risk Assessment), 2020. Risk assessment and toxicological research on micro- and nanoplastics after oral exposure via food products. Department of Food Safety, Unit Effect-based Analytics and Toxicogenomics Unit and Nanotoxicology Junior Research Group, Berlin, Germany, Shopova S, Sieg H and Braeuning A, EFSA Journal 2020;18(S1): e181102, 12 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.e181102>.
- Bhuyan M., 2022. Effects of microplastics on fish and in human health. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 827289.
- Blackburn K., Green, D., 2022. The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown. *Ambio*, 51, 818-830.
- Brander S. M., Renick V. C., Foley M. M., Steele C., Woo, M., Lusher A., Car, S., Helm P., Box C., Cherniak S., Andrews R.C., Rochman C. M., 2020. Sampling and quality assurance and quality control: a guide for scientists investigating the occurrence of microplastics across matrices. *Applied Spectroscopy*, 74(9), 1099-1125.
- Braun U., Jekel M., Gerdt G., Ivleva N., Reiber J., 2018. Microplastics analytics: sampling, preparation and detection methods. In Discussion Paper, BMBF Research Focus "Plastics in the Environment".
- Buyukunal S. K., Rbaibi Zipak S., Muratoglu K., 2023. Microplastics in a Traditional Turkish Dairy Product: Ayrın. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 73(2), 139-150.
- Dhanraj N. D., Hatha A. M., Jisha M. S., 2022. Biodegradation of petroleum based and bio-based plastics: Approaches to increase the rate of biodegradation. *Archives of Microbiology*, 204(5), 258.
- Domenech J., Marcos R., 2021. Pathways of human exposure to microplastics, and estimation of the total burden. *Current Opinion in Food Science*, 39, 144-151.
- Du F., Cai H., Zhang Q., Chen Q., Shi H., 2020. Microplastics in take-out food containers. *Journal of Hazardous Materials*, 399, 122969.



- Ebrahimi P., Abbasi S., Pashaei R., Bogusz A., Oleszczuk P., 2022. Investigating impact of physicochemical properties of microplastics on human health: A short bibliometric analysis and review. *Chemosphere*, 289, 133146.
- ECHA (European Chemicals Agency), 2023. Microplastics. <https://echa.europa.eu/hot-topics/microplastics>. Erişim tarihi: 26.12.2023
- EFSA (European and Food Safety and Authority), 2016. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA Journal* 2016;14, e04501.
- Enyoh C. E., Verla A. W., Verla E. N., Ibe F. C., Amaobi C. E., 2019. Airborne microplastics: a review study on method for analysis, occurrence, movement and risks. *Environmental monitoring and assessment*, 191(11), 1-17.
- 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).
- Erkan H. S., Turan N. B., Albay M., Engin G. O., 2021. Microplastic pollution in seabed sediments at different sites on the shores of Istanbul-Turkey: Preliminary results. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129539.
- Everaert G., Van Cauwenberghe L., De Rijcke M., Koelmans A. A., Mees J., Vandegheuchte M., Janssen C. R., 2018. Risk assessment of microplastics in the ocean: Modelling approach and first conclusions. *Environmental Pollution*, 242, 1930-1938.
- Everaert G., De Rijcke M., Lonneville B., Janssen C. R., Backhaus T., Mees J., ... Vandegheuchte M. B., 2020. Risks of floating microplastic in the global ocean. *Environmental Pollution*, 267, 115499.
- Fadare O. O., Wan B., Guo L. H., Zhao L. 2020. Microplastics from consumer plastic food containers: Are we consuming it? *Chemosphere*, 253, 126787.
- Frederic F., Ghislain F., Huixia Q., Chengda Y., Tomoo H., Dominique, B., Suzy C., Mirela D. G. S., Susi E. D., Roland B., 2015. Facial skin pores: a multiethnic study. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 8, 85-93.
- Guecke B., Groh K., Muncke J., 2018. Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. *Journal of Cleaner Production*, 193, 491-505.
- Guo X., Lin H., Xu S., He L., 2022. Recent advances in spectroscopic techniques for the analysis of microplastics in food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(5), 1410-1422.
- Gündoğdu S., Çevik C., Güzel E., Kilercioğlu S., 2018. Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 1-10.
- Gündoğdu S., 2018. Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35(5), 1006-1014.
- Gündoğdu S., Cevik C., Ataş N. T., 2020. Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tracts of some edible fish species along the Turkish coast. *Turkish Journal of Zoology*, 44(4), 312-323.



- Hartmann N.B., Hüffer T., Thompson R.C., Hassellöv M., Verschoor A., Daugaard A.E., Rist S., Karlsson T., Brennholt N., Cole M., et al., 2019. Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris. *Environ. Sci. Technol.* 2019;53:1039–1047.
- Igalavithana A. D., Mahagamage M. G. Y., Gajanayake P., Abeynayaka A., Gamaralalage P. J. D., Ohgaki M., Takenaka M., Fukai T., Itsubo N., 2022. Microplastics and potentially toxic elements: Potential human exposure pathways through agricultural lands and policy based countermeasures. *Microplastics*, 1(1), 102-120.
- Jadhav E. B., Sankhla M. S., Bhat R. A., Bhagat D. S., 2021. Microplastics from food packaging: An overview of human consumption, health threats, and alternative solutions. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100608.
- Jambeck J. R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T. R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law, K. L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Jin M., Wang X., Ren T., Wang J., & Shan J., 2021. Microplastics contamination in food and beverages: Direct exposure to humans. *Journal of Food Science*, 86(7), 2816-2837.
- Johnson A. C., Ball H., Cross R., Horton A. A., Jurgens M. D., Read D. S., Vollertsen J., Svendsen C., 2020. Identification and quantification of microplastics in potable water and their sources within water treatment works in England and Wales. *Environmental Science & Technology*, 54(19), 12326-12334.
- Kankanige D., Babel S., 2020. Smaller-sized micro-plastics (MPs) contamination in single-use PET-bottled water in Thailand. *Science of the total environment*, 717, 137232.
- Kara N., Sari Erkan H., Onkal Engin G, 2023. Characterization and removal of microplastics in landfill leachate treatment plants in Istanbul, Turkey. *Analytical Letters*, 56(9), 1535-1548.
- Kirstein I. V., Hensel F., Gomiero A., Iordachescu L., Vianello A., Wittgren H. B., Vollertsen J., 2021. Drinking plastics? Quantification and qualification of microplastics in drinking water distribution systems by μ FTIR and Py-GCMS. *Water Research*, 188, 116519.
- Koelmans A. A., Nor N. H. M., Hermesen E., Kooi M., Mintenig S. M., De France J., 2019. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water research*, 155, 410-422.
- Kosior E., Crescenzi I., 2020. Solutions to the plastic waste problem on land and in the oceans. In *Plastic waste and recycling* (pp. 415-446). Academic Press.
- Koyuncuoğlu P., Erden G., 2023. Microplastics in municipal wastewater treatment plants: a case study of Denizli/Turkey. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 17(8), 99.
- Kutralam-Muniasamy G., Perez-Guevara F., Elizalde-Martinez I., Shruti V.C., 2020. Branded milks - Are they immune from microplastics contamination? *Science of The Total Environment*. 2020, 714, 136823.
- Lai H, Liu X, Qu M. 2022. Nanoplastics and human health: Hazard identification and biointerface. *Nanomaterials (Basel)*. Apr 11;12(8):1298.



- Lebreton L., Slat B., Ferrari F., Sainte-Rose B., Aitken J., Marthouse R., Hajbane S., Cunsolo S., Schwarz A., Levivier A., Noble K., Reisser J., 2018. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 8(1), 1-15.
- Luo Z., Zhou X., Su Y., Wang H., Yu R., Zhou S., Xu E.G., Xing B., 2021. Environmental occurrence, fate, impact, and potential solution of tire microplastics: Similarities and differences with tire wear particles. *Science of the Total Environment*, 795, 148902.
- Lusher A., Hollman P., Mendoza-Hill J., 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, (615).
- Microbead-Free Waters Act of 2015, 2015. H.R.1321. <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/house-bill/1321/titles>.
- Mintenig S. M., Löder M. G. J., Primpke S., Gerdt G., 2019. Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of the total environment*, 648, 631-635.
- 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.
- Ocean Conservancy, 2016. 30th Anniversary- International coastal cleanup. <https://tamug-ir.tdl.org/bitstream/handle/1969.3/29296/2016-data-release-1.pdf?sequence=1>.
- Pittroff M., Müller, Y. K. Witzig, C. S. Scheurer M., Storck F. R., Zumbülte N., 2021. Microplastic analysis in drinking water based on fractionated filtration sampling and Raman microspectroscopy. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(42), 59439-59451.
- Pivokonsky M., Cermakova L., Novotna K., Peer P., Cajthaml T., Janda V., 2018. Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of the total environment*, 643, 1644-1651.
- Qingsong J. I., Xiangcheng K. O. N. G., Xinkai W. A. N. G., Zhang X., Huan H. E., Zhang Y., Zhang J., Meng H., Kong D., Deyang K. O. N. G., 2022. The interaction and combined toxic effects of microplastics and organic pollutants in the environment: A review. *Environmental Chemistry*, 41(1), 70-82.
- Qiu R., Song Y., Zhang X., Xie B., He D., 2020. Microplastics in Urban Environments: Sources, Pathways, and Distribution. In: He, D., Luo, Y. (eds) *Microplastics in Terrestrial Environments. The Handbook of Environmental Chemistry*, 95, 41-61. Springer, Cham.
- Sari Erkan H., Emik H. H., Onkal Engin G., 2023. Microplastics in advanced biological wastewater treatment plant of Kocaeli, Turkey: point source of microplastics reaching Marmara Sea. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-22.
- 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.
- Sharma R., Bansal P. P., 2016. Use of different forms of waste plastic in concrete—a review. *Journal of Cleaner Production*, 112, 473-482.



- Shim W. J., Hong S. H., Eo S. E., 2017. Identification methods in microplastic analysis: a review. *Analytical methods*, 9(9), 1384-1391.
- Shruti V. C., Pérez-Guevar, F., Kutralam-Muniasam, G. 2020. Metro station free drinking water fountain-A potential “microplastics hotspot” for human consumption. *Environmental Pollution*, 261, 114227.
- Sönmez V. Z., Akarsu C., Sivri N., 2023. Impact of coastal wastewater treatment plants on microplastic pollution in surface seawater and ecological risk assessment. *Environmental Pollution*, 318, 120922.
- Tunçer S., Artüz O. B., Demirkol M., Artüz M. L., 2018. First report of occurrence, distribution, and composition of microplastics in surface waters of the Sea of Marmara, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 135, 283-289.
- Trivedi P., Hasan A., Akhtar S., Siddiqui M. H., Sayeed U., Khan M. K. A., 2016. Role of microbes in degradation of synthetic plastics and manufacture of bioplastics. *J Chem Pharm Res*, 8(3), 211-216.
- Üstün G. E., Bozdaş K., Can T., 2022. Abundance and characteristics of microplastics in an urban wastewater treatment plant in Turkey. *Environmental Pollution*, 310, 119890.
- Vardar S., Onay T. T., Demirel B., Kideys A. E., 2021. Evaluation of microplastics removal efficiency at a wastewater treatment plant discharging to the Sea of Marmara. *Environmental Pollution*, 289, 117862.
- Verla A. W., Enyoh C. E., Verla E. N., Nwarnorh K. O., 2019. Microplastic-toxic chemical interaction: a review study on quantified levels, mechanism and implication. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1-30.
- Verschoor A. J., 2015. Towards a definition of microplastics: Considerations for the specification of physico-chemical properties. <https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/575986/2015-0116.pdf?sequence=3>.
- WHO (World Health Organization), 2019. Microplastics in drinking-water. https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/microplastics-in-drinking-water/en/.
- Wright S. L., Kelly F. J., 2017. Plastic and human health: a micro issue?. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634-6647.
- Wu P., Huang J., Zheng Y., Yang Y., Zhang Y., He F., Chen H., Quan G., Yan J., Li T., Gao, B., 2019. Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 184, 109612.
- Yee M. S. L., Hii L. W., Looi C. K., Lim W. M., Wong S. F., Kok Y. Y., Tan B. K., Wong C. Y., Leong C. O., 2021. Impact of microplastics and nanoplastics on human health. *Nanomaterials*, 11(2), 496.
- Yong C. Q. Y., Valiyaveetil S., Tang B. L., 2020. Toxicity of microplastics and nanoplastics in mammalian systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(05), 1509.



Mikroplastikler

-
- Yoshida S., Hiraga K., Takehana T., Taniguchi I., Yamaji H., Maeda Y., Toyohara K., Miyamoto K., Kimura Y., Oda K., 2016. A bacterium that degrades and assimilates poly (ethylene terephthalate). *Science*, 351(6278), 1196-1199.
- Zhang Q., Zhao Y., Li J., Shi H., 2020. Microplastics in food: health risks. *Microplastics in Terrestrial Environments*, 343-356.
- Zipak S., Muratoğlu K., Büyükunal S., 2022. Evaluation of microplastic presence in yogurt production process. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 28(5), 633-641.

**KISALTMALAR**

AFM-IR	: Atomik kuvvet mikroskobu tabanlı kızılötesi spektroskopisi (Atomic Force Microscopy Based Infrared Spectroscopy)
BPA	: Bisfenol A
FPA	: Odak düzlemi dizisi
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
HDPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
LC-MS/MS	: Sıvı kromatografisi-tandem kütle spektrometrisi (Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry)
LDPE	: Düşük yoğunluklu polietilen
MALDI-TOF	: Matris destekli lazer desorpsiyon/ionizasyon uçuş süreli kütle spektrometrisi (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight)
MS	: Kütle spektrometrisi
OCP	: Organoklorlu pestisit
PAH	: Poliaromatik hidrokarbon
PCB	: Poliklorlu bifenil
PET	: Polietilen tereftalat
PP	: Polipropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil klorür
Pyr-GC-MS	: Piroliz gaz kromatografisi kütle spektrometrisi (Pyrolysis Gas Chromatography-Mass Spectrometry)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TED	: Termal ekstraksiyon ve desorpsiyon
WHO	: Dünya Sağlık Teşkilatı