



NANO- VE MİKROPLASTİK' LERİN İNSAN SAĞLIĞI VE EKOSİSTEM ÜZERİNDEKİ OLASI ETKİLERİ

Possible Effects of Nano- and Microplastics on Human Health and the Ecosystem

Meral Yurtsever

Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

E-posta: mevci@sakarya.edu.tr

MAKALE BİLGİSİ

Alınış Tarihi: 09/07/2019

Kabul Tarihi: 26/12/2019

ARTICLE INFO

Received: 09/07/2019

Accepted: 26/12/2019

Anahtar Kelimeler:

Mikroplastik
Nanoplastik
Kirlilik
Maruziyet
Ekosistem

Keywords:

Microplastic
Nanoplastic
Pollution
Exposure
Ecosystem

Öz

Tamamıyla antropojenik kaynaklı ve kalıcı bir çevresel kirlenici olan nano- ve mikroplastikler, su, hava veya toprak kirliliği ile ilgili standartlarda henüz bir kirlenici parametre olarak yer almasa da, son zamanlarda küresel ölçekte öncelikli kirleniciler kapsamında dikkate alınmaya başlamıştır. Maalesef günümüzde tükettiğimiz gıdalar ve soluduğumuz hava nano- ve mikroplastik kirliliği içerebilmektedir. Nano- ve mikroplastik' lerin insan sağlığına etkilerinin anlaşılması konularındaki sınırlı araştırmalar ve gözlemsel kanıtlar, çeşitli kaynaklardan gelebilecek nano- ve mikroplastik' lere maruziyetin mevcut düzeylerinin ciddi bir toksisite oluşturma ihtimalinin düşük olduğunu, fakat imkansız da olmayacağını göstermektedir. Bununla birlikte, patojenik mikroorganizmaları ve toksik kimyasalları yüzeyinde taşıyabilen nano- ve mikroplastik' lerin yüksek dozlarda kronik olarak gıdalarla yutulmasının ve solunmasının potansiyel etkileri henüz bilinmemektedir.

Abstract

As a completely anthropogenic as well as an persistent environmental pollutant, nano- and microplastics have recently drawn interest among the emerging pollutants on a global scale, even though they have yet to be recognized as official pollutant parameters as part of the standards on water, air, or soil pollution. Unfortunately nowadays, the foods we eat, the water we drink and the air we breathe could contain nano- and microplastic pollution. The limited research and observational evidence regarding the nano- and microplastics impact on human health leads to the conclusion that the current levels of exposure to nano- and microplastics from various sources have a low but certainly undeniable potential of causing significant toxicity. On the other hand, the potential effects of chronic consumption by foodstuff or inhalation of high doses of nano- and microplastics which can carry pathogenic microorganisms and other toxic chemicals on their surface, have not yet been investigated in detail.

Atf bilgisi/Cite as: Yurtsever M,

2019. Nano- ve mikroplastik' lerin insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki olası etkileri. Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 5(2), 17-24.

GİRİŞ

Plastik Atıklar ve Nano- ve Mikroplastik Oluşumu

Çevrede özellikle son yıllarda önlenemez şekilde artan çöplerin çoğunluğunu plastik atıklar, bu atıkların büyük kısmını da tek kullanımlık plastik malzemeler oluşturmaktadır. Plastik kirliliğiyle ilgili olarak

yapılan yeni araştırmalarda, yerleşim olmayan ıssız adalardan kutuplara, hatta dünyanın en derin noktası olan Mariana çukuruna (Peng ve ark., 2018) kadar bir çok yerde plastik polimer parçalarına rastlandığı ortaya çıkmıştır. Plastik çöplerin, karasal ve sucul ekosistemleri önemli ölçüde etkileyerek canlıların devamlılığını bozabildiği gibi, toprak ve suların da fiziksel kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirdiği görülmektedir. Plastikler ve onların atıkları dünyada her an her yerde, aşırı miktarda ve dağılmış halde bulunabilmektedir. Hatta o kadar ki, gömüldükleri tortul kayaçların yaş ve karakterinin bir işareti olarak bile kullanılabilir. Ucuz, hafif, esnek, dayanıklı, pratik, kullanışlı plastik malzemelerin tamamıyla hayatımıza girmesinden dolayı son yüzyılı “Plastisen (Plasticene)” yani “Plastik Çağ” olarak nitelendiren bilim adamları (Reed, 2015; Mendoza ve ark., 2018) tarafından artık, plastiklerle ilgili çoğu konu anlatılırken plastik- ön eki ile yeni terimler üretilmektedir. Örneğin dünyadaki jeolojik kayaçlara atıfta bulunarak uzun vadede oluşacak jeolojik katmanlar “plastiglomerat” (plastiglomerate) olarak (Corcoran ve ark., 2014; Zalasiewicz ve ark., 2016), sularda gezen plastik parçacıklar üzerinde yaşayabilen çeşitli mikrobiyal topluluğa atıfta bulunularak onlar da “plastisfer” (plastisphere) (Zettler ve ark., 2013) olarak adlandırılmaktadır. Zettler’ e göre plastik parçacıklar (Mikroplastikler) biyofilm oluşumunu tetiklemektedir, plastik parçacıkları kaplayan ve üzerinde yaşayan canlılar; heterotroflar, ototroflar, avcılar ve simbiyontlardan oluşan çeşitli mikrobiyal topluluklardır.

İlk olarak Thompson ve arkadaşları (2004) tarafından kullanılan “Mikroplastik” terimi genel olarak 5 mm’ den küçük olan plastik parçacıklar olarak tanımlanmıştır. Daha sonra mikroplastikler boyut büyüklüğüne göre; küçük (1 µm-1000 µm) ve büyük (1000 µm-5000 µm) mikroplastikler olarak iki grupta ele alınmıştır (Erni-Cassola ve ark., 2017). Mikroplastiklerin birincil kaynakları olarak günümüzde kimi ülkede kozmetiklerde kullanımı yasaklanmış olan mikroboncuklar (microbeads) (Yurtsever ve Yurtsever, 2019), plastik fabrikalarının üretim peleti döküntü ve/veya atıkları, ikincil kaynakları olarak ise, sentetik tekstil ürünlerinden dökülen mikrolifler (microfiber, MF), araç lastiği döküntüleri, yol kaplama ve boya döküntüleri ve kısacası plastiklerin çevrede zamanla parçalanarak oluşan küçük döküntüleri sayılabilir. Gıdalardaki mikroplastikler incelenecek olursa, bu plastiklerin bazı ürünler için temel hammadde içerisinde, bazılarında üretim süreçleri aşamasında bazılarında ise paketleme de kullanılan ambalaj malzemelerinden dolayı ve ürünün tüketimi esnasında (havadan vb.) gıdalara geçebilmesi mümkündür.

Literatürde nano- (NP) ve mikroplastik (MP) kirliliği için yeni ve daha kapsamlı bir tanım bulunmaktadır; Organik malzemelerin ve kirletici maddelerin bir eko-korona oluşturmak üzere ard arda bağlanabildiği polimerlerin ve katkı maddelerinin dinamik karışımına denir. Burada oluşan yapıdaki parçacıkların yoğunluğu ve yüzey yükü plastiklerden dolayı artmakta ve diğer maddelerin biyoyararlanımları ve toksisiteleri değişebilmektedir (Galloway ve ark., 2017). MP’ ler için yapılan en son tanım ise şöyledir: “Mikroplastikler birincil ve ikincil kaynaklardan gelen, 1 µm -5000 µm arası boyutlarda olabilen, suda çözünmeyen, düzgün veya şekilsiz polimerik parçacıklardır” (Frias ve Nash, 2019). Çevrede ve sularda büyük bir kirlilik oluşturduğu bilinen atık plastikler, farklı bir çok çalışmada (de Lucia ve ark., 2014; da Costa ve ark., 2016, Bräte ve ark., 2016) boyutlarına göre sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Ancak bu konuda bir kavram karmaşası bulunmaktadır. Bu sebeple, MP konusunda uzmanların oluşturduğu bir grup tarafından yeni bir sınıflandırma yapılmış ve plastiklerin küçükten büyüğe doğru; nanoplastik (NP) (1nm-1µm), mikroplastik (1µm-1 mm), mezoplastik (1mm-1 cm) ve makroplastik (≥ 1 cm) olarak sınıflandırılması önerilmiştir (Hartmann ve ark., 2019).

Çevredeki plastikler; doğal olarak rüzgar, hava, güneş ışığı, sulardaki dalga, akıntı, gel-git, tuzluluk, canlı faaliyetleri gibi etkilerle ve çeşitli antropojenik etkilerle parçalanarak mikroplastiklere dönüşmektedir. Çevresel koşullar, örneğin rüzgar şehir bölgelerinden şehirleşmemiş alanlara hatta yerleşimden çok uzak alanlara bile nano- ve mikroplastikleri taşıyabilmektedir. Son dönemde yapılan çalışmalarda; soluduğumuz havada ve atmosferik döküntülerde de ciddi oranda nano- ve mikroplastiklerin bulunduğu, bunların yoğun olarak sentetik tekstil ürünlerinin aşırı kullanımına bağlı olarak MF’ lardan oluştuğu bildirilmiştir (Dris ve ark., 2016; Kaya ve ark., 2018). Mikroplastik lifler (MF) boyut ve hacimsel olarak düşünüldüğünde aynı büyüklükteki plastik parçalara kıyasla daha küçük, daha hafiftir ve daha az yer kaplar. Bu da, lif formundaki plastiklerin, neden havada daha fazla bulunduğu ve kolayca taşınabildiğinin cevabıdır (Free ve ark., 2014). Özellikle kalabalık yerleşim bölgelerindeki havada daha fazla MF’ lere rastlandığı ve bunların önemli oranda petrokimyasal madde türevi içerdiği vurgulanmaktadır (Dris ve ark., 2016).

Plastik Kirliliğinin Canlılara Etkileri

Plastiklerin çok uzun ömürlü olması ve daha dayanıklı kompozit türlerinin de üretilip kullanılmasından dolayı oluşan atık plastik parçacıkların bir defa çevreye dağıldığında yüzyıllarca bozunmadan kalabilmesi mümkündür. Bunun yanı sıra mikroplastiklerin; organoklorlu pestisitler, kalıcı organik kirleticiler (KOK’ lar), hormon bozucular, antibiyotikler vb. gibi toksik organik kimyasalları ve ağır metalleri adsorplayabilme kapasiteleri de bulunmaktadır. Hidrofobik küçük plastik partiküllerin hacmine oranla büyük olan yüzey alanları; toksik kimyasalların polimer yüzeyine adsorplanmasını kolaylaştırarak, deniz organizmaları için kompleks bir kirletici madde karışımı sunmaktadır (Rochman ve ark., 2013). Ayrıca plastiklerin üretimi esnasında ağır metaller (Pb, Cu, Cd), ftalatlar, Bisfenol A (BPA) vb. gibi toksik olarak

nitelendirilen katkı maddelerinin kullanılmasından dolayı, bu plastiklerden koparak oluşan MP parçaları da aynı toksik bileşenleri içerecektir. Plastiklerin -dolayısıyla da NP ve MP' lerin-, çevredeki sularda çeşitli organik ve inorganik toksik kirletici maddeleri tutarak yüzeylerinde biriktirebilme ve kirleticileri canlılara taşıyarak canlılarda da biyoakümülyasyona sebep olabilme gibi potansiyelleri de bulunmaktadır (Brennecke ve ark., 2016; Koelmans ve ark., 2016).

Günümüzde NP ve MP kirliliğinin en belirgin tehdidi özellikle sucul ekosistem üzerindedir. Su kaynaklarında rastlanan çöplerin çoğunluğunu plastikler oluşturmaktadır. Yoğunlukları nedeniyle sularda yüzebilen plastik çöpler yüzey bölgesinde suyun renk, bulanıklık ve ışık geçirgenliği gibi fiziksel su kalite parametrelerini etkileyebildiği gibi, plastiklerden zamanla sızabilecek toksik bileşenler de kimyasal parametreleri bozabilir (Koelmans ve ark., 2016). Günümüzde aşırı miktarlara ulaşabilen iri veya ufak boyutlardaki plastik çöplerin, okyanuslardaki restoratif kapasiteyi zamanla azaltmaya başladığı anlaşılmıştır. Son zamanlarda sularda yaşayan birçok canlı ve su kuşları ile ilgili yapılan çalışmalarda plastik çöplere dolaşmış olan hayvanların boğulabildiğini, dış yaralanmalara uğrayabildiğini, besine ulaşabilme ve avcı hayvanlardan kaçabilme kabiliyetini kaybedebildiğini, dolu bir mide ve tokluk hissi sonucu zamanla zayıflayarak formunu yitirebildiğini ve ölebildiğini göstermektedir (Jepsen ve ark., 2019; Thiel ve ark., 2018; Mato ve ark., 2001). Su kuşları (Albatros, martı) yiyecekleri midye, balık ve kalamarla beraber sulardaki plastik parçacıkları da yutabilmekte, su kaplumbağaları ise deniz anasıyla beslenirken etrafını sarmalayan plastik poşetleri de yiyecek zannederek yutabilmektedir. Yapılmış bazı çalışmalar, avlanmış balık türlerinin gastrointestinal (GIT) kanallarında bulunan MP parçacığını kaydederek ve bu balıkların avcılara transfer olma potansiyelini vurgulamaktadır (Nelms ve ark., 2018). Canlıların çoğunun sulardaki MP' leri yiyecek zannederek kolayca yutmasının sebepleri olarak; sulardaki plastiklerin parçalanmış, kolay yutulabilir formda olması, renginin ve şeklinin canlıların genelde tükettiği avına benzemesi, canlıların yaşadığı ortamda fazla MP bulunması, MP yüzeylerinin organik maddelerle beraber bir biyofilm tabakası ile kaplanmış olması sayılabilir (Cole ve ark., 2013; Kirstein ve ark., 2016).

Ayrıca, plastik üzerine tutunabilen patojenler öncelikli olarak denizel canlılar için tehdit oluşturmaktadır. Çünkü hem kalıcı organik kirleticiler, ağır metaller, hem de patojenlerin plastik üzerinde konsantrasyonu deniz suyundaki konsantrasyonlarına göre katbekat yüksektir. Dolayısı ile mikroplastiklere öncelikli olarak maruz kalan su ürünlerinin tüketimi ile NP ve MP' ler insan sağlığı üzerinde tehdit oluşturabilecektir. Bundan başka, deniz organizmalarının hücrelerinde ve dokularında mikroplastik birikimine bağlı olarak kronik biyolojik etkiler ortaya çıkabilir (Sharma ve Chatterjee, 2017).

NP ve MP' lerin insanlar için olası risklerini anlayabilmek için, plastik parçacığın şekli, büyüklüğü ve yüzey kimyası gibi özelliklerinin bilinmesi gerekir. Son zamanlarda yapılan çalışmalar, plastiklerin parçalanmasıyla oluşan nanoplastiklerin, kaynaklandığı malzemeden çok daha farklı fiziko-kimyasal özelliklere sahip olduğunu göstermektedir (Lehner ve ark., 2019). Sağlık açısından ele alındığında nanoplastiklere mide-bağırsak (GI) sistemiyle, akciğer yoluyla ve cilt yoluyla üç ana maruziyet mümkündür. MP' lerin toksisitesi büyük ölçüde parçacık büyüklüğüne bağlıdır, genel olarak, parçacık ne kadar küçük olursa, asidik bağırsak koşullarında toksik kimyasallar açığa çıkararak nüfuz edebileceği organizmanın içine girebilir (Bakir ve ark., 2014; Antunes ve ark., 2013). Çok sayıda çalışma, model kimyasalların bireysel organizmalar ve yapay besin zincirleri üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Ancak, MP' lerin ve çevre kirliliğiyle ilgili kimyasal içeriklerinin kaderinin, besin zinciri üzerinden izlendiği pek bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca, MP' lerin ve bunlarla ilişkili kirletici maddelerin deniz ürünlerinden insanlara geçişini ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini anlama girişimi henüz bulunmamaktadır (Carbery ve ark., 2018).

Plastik Parçacıklar Üzerinde Biyofilm Oluşumu

Plastik küre (Plastisfer) ilk olarak, Zettler ve ark. (2013) tarafından tanımlanmıştır. "Plastisfer", plastik parçacıkların yüzeyinde var olan küçük bir yaşamı ifade eden bir terimdir. Bu ortam, karadaki bitkilere benzer bir şekilde ışıktan enerji üretmek için fotosentez yapan organizmalardan, parazitlere ve hatta omurgasız hayvanlara, balıklara ve insanlara zarar verebilecek potansiyel hastalığa neden olan organizmalara kadar tüm av ve avcılar anlamında kullanılmaktadır.

Denizlerde yapılan araştırmalarda, plastik parçacıkların üzerinde rastlanan mikrobiyal toplulukların doğal deniz ortamında bulunanlardan farklı olabildiği görülmüş ve sucul ortamdaki plastiklere bağlanmış mikroorganizmaların ait olmadıkları bir ekosisteme taşınmış olması konusu büyük bir endişe sebebi olmuştur (Zettler ve ark., 2013). Farklı türlerin plastikler sayesinde uzun mesafeler boyunca taşınması durumu onlar için; doğal olmayan "istilacı tür veya hastalık vektörleri" gibi olmalarına izin veren bir potansiyel yaratmaktadır (Viršek ve ark., 2017). Ayrıca, atıksu arıtma tesislerinden gelen arıtılmış sularda belli miktarda MP' lere rastlandığı bilinmektedir (Sun ve ark., 2019). Arıtma tesisi çıkışında bulunan MP' ler arıtılmış suların, tatlı su mikrobiyal topluluğu üzerindeki etkisini artırabilmektedir. Su ortamındaki bakteriyel topluluğun atık suda bulunanlara olan benzerliği, arıtılmış sudaki artan mikroplastik sayısı ile doğru orantılıdır (Eckert ve ark. 2018).

İnsan patojeni gibi bakteriler *Vibrio spp.* (Kirstein ve ark., 2016) ve diğer *Vibrionaceae* (De Tender ve ark., 2015) türleri, denizel ortamdaki MP' ler üzerinde kolonize halde bulunmuştur. Mikroplastikler, insan patojenlerinin deniz ortamında yayılması için potansiyel vektörlerdir. Deniz ortamında rastlanan mikroplastikler gibi kalıcı kirleticiler, metallerin, antibiyotiklerin ve insan patojenlerinin çoğalması için bir aracı olarak bilinir. Son zamanlarda yayınlanan araştırmalar, mikroplastiklerde bulunan filogenetik olarak farklı mikroorganizmalar arasındaki yatay gen transferinin, serbest yaşayan mikroorganizmalardan çok daha hızlı olduğunu doğrulamıştır. Bu nedenle, mikroplastikler, çoklu ilaç dirençli insan patojenleri için potansiyel teşkil ederek, deniz ortamında rekreasyon faaliyetleri yapan ve deniz kaynaklı gıdaları yiyen çoğu insan için ciddi bir risk oluşturabilir. Bu nedenle, metal, antibiyotik, insan patojenleri ve mikroplastiklerle birlikte kirlenen deniz ortamları, global ölçekte önemli bir sağlık tehdidi oluşturmaktadır (Imran ve ark., 2018).

Bunun yanı sıra Neu ve ark. (2018), yaptıkları bir çalışmada esnek ve yumuşak plastik materyallerin mikrobiyal büyümeyi desteklediğini göstermiştir. Çocukların yaygın kullandıkları banyo oyuncakları, esnek sentetik polimerik malzemelerden ve çoğunlukla polivinil klorür (PVC) veya silikon kauçuktan üretilmektedir. Plastiklerin yapısında bulunan karbon, bazı mikroorganizmalar tarafından enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar, plastik malzemelerin bazı organik maddeleri adsorbe ettiğini, sonrasında biyofilm oluşumuna imkan sağladığını ve bunların da plastik malzemenin türüne bağlı olarak geliştiğini göstermiştir. Dahası, esnek polimerik malzemelerin, mikrobiyal büyüme ve biyofilm oluşumunu destekleyen önemli miktarlardaki organik karbon bileşiklerini de saldırdığı bilinmektedir. Bu salınan bileşikler tipik olarak birincil polimerler değil, daha çok, plastikleştiriciler ve stabilizatörler gibi katkı maddeleridir.

Plastik Kirliliğinin İnsan Sağlığına Muhtemel Etkileri

Karasal ve denizel ortamlarda dağılmış plastik çöplerin daha küçük parçacık formu olan NP ve MP' ler insanların vücuduna beslenme yoluyla ve/veya havadan solunum yoluyla girebilir. Ayrıca düşük bir ihtimal gibi görünse de özellikle yaralı ve hasta cilde sahip olanlarda deri dokusunun içlerine doğru NP nüfuzu söz konusu olabilir (Lehner ve ark., 2019).

İnsanların içtikleri sularda (çeşme suyu ve şişe su), günlük beslenmede yaygın tükettiği yiyeceklerde (tuz, midye, karides, balık gibi su ürünlerinde, şekerde, balda) ve bira, soda gibi içeceklerde de MP' lerin mevcudiyeti tespit edilmiştir (Kosuth ve ark., 2018; Liebezeit ve Liebezeit, 2014; Rochman ve ark., 2015; Yurtsever, 2018). Yapılan bir araştırma (Cox ve ark., 2019), bugüne kadar MP kirliliği açısından analiz edilmiş maddelerin önerilen ya da ortalama miktarlarını tüketen bir Amerikalı yetişkinin ve çocuğun; yılda 81000-123000 arasında MP' e maruz kaldığını göstermektedir. Bu sebeple beslenme ve inhalasyon yoluyla günlük olarak belli miktardaki NP ve MP' lere kronik şekilde maruz kalınabileceği açıkça görülmektedir, ancak bunun insan sağlığı üzerindeki etkileri henüz tam olarak anlaşılamamıştır.

Fareler üzerinde mikroplastiklerin doku dağılımı, birikimi ve dokuya özel sağlık riski gibi etkilerini araştırmak amacıyla yapılan bir çalışmada (Deng ve ark., 2017) iki farklı çaptaki (5 µm ve 20 µm) floresan özellikli ve saf polistiren (PS) mikroplastik partikülleri kullanılmıştır. Sonuçlar, MP' lerin karaciğer, böbrek ve bağırsakta biriktiğini, MP' lerin partikül büyüklüğüne güçlü bir şekilde bağlı olan bir doku birikimi kinetiği ve dağılım örneğine sahip olduğunu göstermiştir. Ek olarak, çoklu biyokimyasal biyobelirteçler ve metabolomik profillerin analizleri, MP' lere maruz kalmanın, enerji ve lipid metabolizmasının yanı sıra oksidatif strese de neden olduğunu göstermiştir. Çalışmalar sonucunda, bağırsakta ve böbrekte biriken 5 µm mikroplastiklerin, 20 µm ile elde edilenden çok daha yüksek bir konsantrasyonda bulunduğu görülmüştür. Her ne kadar mekanizmalar hala açıklığa kavuşturulmasa da, bu çalışmada elde edilen, küçük parçacık büyüklüğünün dokulardaki nanopartikül birikimini arttırdığı bulgusunun, bu konuda yapılmış diğer bazı çalışma sonuçlarını (He ve ark., 2011; Park ve ark., 2010) desteklediği görülmektedir. Yani, oral olarak uygulanan plastik nano- ve mikropartiküllerin farelerde çeşitli dokularda dağılabildiği, bu dağılımın ve biriken miktarların parçacık boyutu ile ters orantılı olduğu anlaşılmaktadır. Diğer bir çalışmada ise beş hafta boyunca yetişkin Wistar erkek sıçanlara oral yoldan 38.92 nm boyutta polistiren nanoplastik (PS-NP) uygulanmış ve nöro-davranışsal etki testleri yapılmıştır. Yapılan tüm testlerde istatistiksel olarak anlamlı bir nöro-davranışsal değişiklik gözlenmemiştir (Rafiee ve ark., 2018).

İnsanların besin yoluyla MP' lere maruziyetini anlamak amacıyla yapılan yeni bir çalışmada; Avusturya, Finlandiya, İngiltere, İtalya, Japonya, Hollanda, Polonya ve Rusya gibi farklı coğrafik konumlardaki 8 ülkeden olan ve günlük beslenme diyetinde sucul ürünler de bulunan insanlardan alınan dışkı numunelerinde MP' ler incelenmiş ve yaklaşık 10g dışkıda toplam 9-24 adet 50-500 µm boyutlarında MP bulunduğu bildirilmiştir. Bu plastiklerin FT-IR analizlerinde, çoğunluğu PET, PP, PE olmakla beraber, POM, PA, PU, PS, PVC, PMMA türü polimerler oldukları tespit edilmiştir (Schwabl ve ark., 2018). İnsan kanındaki belirli immün hücrelerine (monositler ve dendritik hücreler) etkilerini anlamak amacıyla Nanoplastik PVC lifleri kullanılarak yapılan başka bir çalışma (Weber ve ark., 2018) ise, hücrelerin nanoplastik PVC ile etkileştiğini ve plastik parçacıklarının immün hücrelerde sitokin salınımını indüklediğini, dolayısıyla inflamasyonun meydana geldiğini göstermiştir. MP' ler için gastrointestinal sistemde absorpsiyon ve toksisite potansiyeli nispeten düşüktür. Bununla birlikte, NP' ler

kolay emilir ve suda yaşayan canlılarda ve diğerlerinde beyin, karaciğer gibi dokularda birikim gösterebilir (Waring ve ark., 2018). İnsanlarda özellikle bağırsak hastalıkları olan hastaların nano- ve mikropartiküllere karşı savunmasız olabileceği bilinmektedir (Schmidt ve ark. 2013). Gıdalarda veya besin zincirinde bulunabilecek MP kirliliğinin aşırı yüksek seviyelere ulaşmadıkça insan dokularında ciddi bir toksisiteye neden olması muhtemel değildir. Ancak bilim adamları bunun tamamen imkansız da olmadığını vurgulamaktadır. Sorunlu bir bağırsak, geçirgen bir beyin bariyeri ve kontamine olmuş gıdalara ve havaya kronik maruziyet gibi şartlar potansiyel oluşturabilir (Waring ve ark., 2018).

Beslenme ile plastik mikropartiküllere maruz kalınması durumunda insanlar üzerindeki potansiyel zararlı etkileri kromozomlarda değişikliklere neden olabilir ve infertilite, obezite ve kansere yol açabilir (Sharma ve Chatterjee, 2017).

Bir çalışmada (Pauly ve ark., 1998), 114 akciğer biyopsisinin % 87' sinde selüloz liflere ve plastik liflere (250 µm'ye kadar) rastlandığı bildirilmektedir. Havadan inhalasyonla alınan mikroplastik liflerin biyo-kalıcı olma ihtimali oldukça yüksektir (Gasperi ve ark., 2018). Aynı zamanda bu lifler diğer kirleticileri de taşıyabilir. Solunan hava, burun mukozası ve tüycükler sayesinde tutularak 5µm üzeri partiküllerden temizlenir. Çoğu MF burunda mukosilyer temizlikle tutulabilir. Bununla birlikte, daha küçük MF' ler akciğere kadar devam edebilir, özellikle de hassas kişilerde inflamasyon da dahil olmak üzere lokalize biyolojik tepkilere neden olabilir. MF' lerin üzerinde tutulmuş olan Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) gibi kirleticiler akciğerlerde desorbe olup genotoksisiteye neden olurken; plastiğin kendisi ve katkı maddeleri (boyalar, plastikleştiriciler) üreme toksisitesi, kanserojenlik ve mutajenlik gibi sağlık etkilerine neden olabilir (Wright ve Kelly, 2017; Prata, 2018).

TARTIŞMA

Farklı türdeki nanopartiküller ile yapılan mevcut çalışmalar, meydana gelebilecek toksisitenin insanda bazı organları, üreme sistemini ve merkezi sinir sistemini etkileyebileceğini düşündürmekle beraber, toksisitenin olabilmesinde maruziyetin dozunun ve süresinin önemli olduğunu vurgulamaktadır. Günümüzde çevre ve sulardaki boyutları yeni anlaşılan NP ve MP kirliliğinin, gıdalardaki ve iç-dış hava ortamlarındaki konsantrasyonları ile bu kirliliğe maruziyet dozları hakkında pek fazla bilgi bulunmamaktadır. Hatta bu konuda Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ, 2019) tarafından hazırlanan yeni bir raporda, içme sularındaki MP' lerin sağlığa zararlı olduğuna dair henüz net kanıtlar bulunmadığı ve MP parçacıkların oranları hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulduğunu bildirilerek, parçacıkların miktarının belirlenmesine yönelik daha derin araştırmalar yapılması gerektiğine dikkat çekilmektedir. Bunun yanı sıra mevcut sınırlı delillere dayanarak, içme suyunda mikroplastiklerle ilişkili kimyasalların ve mikrobiyal patojenlerin insan sağlığı için düşük bir endişe yarattığı da bildirilmektedir (DSÖ, 2019).

Çoğunlukla hayvan çalışmalarından elde edilen sınırlı veriler NP ve MP' lerin solunması veya yutulması halinde bir bağışıklık tepkisi başlatarak parçacık toksisitesine sebep olabileceğini ve birikebileceğini göstermektedir. Yutularak vücuda giren plastik parçacıkların özellikle hassas bireylerde ne tür bir sağlık probleminde sebep olduğu konusu hala belirsiz olmakla birlikte, bilim adamları (Koelmans ve ark., 2019) bu tip mikro ve nanoplastik parçacıklarının parçacık toksisitesine (enflamatuvar, organ hasarı), kimyasal madde toksisitesine (ftalatlar, Bisfenol A, alev geciktiricilerin etkisiyle hormon bozucu, üreme ve nörogelişimsel etkiler ve kanser) veya patojen toksisitesine (viral, bakteriyel hastalıklar) sebep olabileceğini bildirmektedir. Özellikle hassas insanlarda veya maruziyetin yüksek olacağı çalışma veya yaşama ortamlarında etkilerinin ne olacağı konusunun aydınlatılması büyük önem arz etmektedir. NP ve MP' ler çok küçük boyutlarından dolayı çok çeşitli sucul organizmaya kolayca erişebiliyor, nihayetinde besin ağı boyunca aktarılabilme potansiyeline sahiptir. Mikroplastiklerin insanlara geçişi, insanların gıdalarla ve solunumla mikroplastiklere maruziyeti, maruziyetin kronik olup olmaması durumu, maruziyetin dozları ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etki potansiyeli gibi konulardaki hala belirsizlik bulunmaktadır. Günümüzde öncelikli bir kirletici haline gelen ve insanların dikkatini çeken mikroplastiklerin ileri çalışmalarla irdelenmesi ve özellikle hassas gruplar açısından mikroplastik maruziyetinin sınırlandırılması gerekli görünmektedir.

NP ve MP parçacıkları kullanılarak kontrollü şartlarda yapılan bazı deneysel çalışmalarda, yüksek NP ve MP konsantrasyonlarının, iltihaplanma ve stresi tetikleme dahil, çevreye ve canlılara fiziksel zarar verdiği gösterilse de gerçek ortamlarda yapılan sınırlı ve az sayıdaki çalışmalarda ölçülmüş seviyelerin çok yüksek olmadığı ve pek fazla risk oluşturmadığı düşünülmektedir (SAPEA, 2018). Literatürdeki çalışmalarda çevredeki 50 µm' den daha küçük plastik parçacıkların (NP ve MP) durumu pek incelenmemiştir. 10 µm'den küçük MP' ler spektroskopik cihazlarla (örn. FT-IR, Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrofotometre) hassas bir şekilde doğrulanamamaktadır. Fakat özellikle bu kadar küçük parçacıkların incelenmesi, gıda, solunum ve insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Çünkü bu parçacıklar canlılarda hücre içine ve dolayısıyla organlara nüfuz edebilir.

Günümüzde insanlar için NP ve MP kirliliğine bağlı olarak yaygın bir risk gözlenmese de, plastik tüketimine bu hızla devam edilirse, bu kirliliğin uzun vadede ciddi risk oluşturması söz konusu olabilecektir. Bu sebeple başta tek kullanımlık plastikler (plastik bardak, tabak, çatal, kaşık, pipet ve benzeri yeme içme gereçleri,

hastanelerde kullanılan PP önlük, maske, bone, örtü, perde) ile sentetik tekstil ürünleri olmak üzere, plastik kullanımının en azından hassas kişiler ve ortamlar (hastaneler, anasımfları, tekstil fabrikaları) açısından gözden geçirilmesi, alınacak tedbirlerle bu ortamlardaki bireyler açısından risk değerlendirme ve iyileştirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Alınacak yasal tedbir ve düzenlemelerle de plastiklerin kullanılması neticesi oluşan atıkların çevreye kontrolsüzce dağılmasının önlenmesi gerekmektedir (Yurtsever ve Balcı, 2018). Ayrıca plastiklerin, özellikle de tek kullanımlık plastiklerin aşırı tüketiminin karbon emisyonunu artırıcı etki edeceği de dikkate alınarak bu malzemelerin aşırı kullanımının önüne geçilmelidir. Çok kullanımlık plastik ürünlerin yanı sıra özellikle tek kullanımlık plastiklerin kullanımı kalabalık şehirlerdeki insanlar için ne kadar pratik olsa da, oluşan çöplerdeki plastikler zamanla küçük parçalara ayrılarak kanalizasyonları, tatlı suları, denizleri, okyanusları dolaşacak ve tekrar insanların karşısına gelebilecektir. Bu yüzden, insanların sürekli tüketiminde olan gıdalarda kullanılan malzemelerin de gizli bir mikroplastik taşıyıp taşımadığı konusunun detaylıca araştırılması gerekli görülmektedir.

Bu sebeplerden dolayı, tüm çevresel ortamlardaki NP ve MP' lerin, kaynakları, miktarları, dağılımları ve akıbeti ile diğer canlılar ve insanlar açısından özellikle hassas alıcılara yakından ilgili olabilecek maruziyet kaynakları, oranları, maruziyetin tipi ve olası sağlık risklerinin araştırılması ve çözüm tedbirlerinin alınması önem arz etmektedir.

SONUÇ

Plastik atıkların ve dolayısıyla da günümüzde el değmemiş ortamlarda bile rastlanan NP ve MP' lerin insanlar üzerindeki muhtemel olumsuz etkileri olarak; havadaki NP ve MP' lere inhalasyon yoluyla maruziyet sonucu ve/veya beslenmede alınan gıdalarda birlikte yutma sonucu oluşabilecek etkiler sayılabilir. Burada, insanlarda ciddi bir olumsuz etkiden bahsedebilmek için, maruziyetin özellikle daha küçük boyutta olan plastiklere (özellikle NP' lere), yüksek dozlarda ve kronik olarak gerçekleşmesi gerekmektedir. Buna ilaveten sürekli her yerde rastlanan ve görüntü kirliliği oluşturan plastik atıklar ile, insanların yediği içtiği gıdalarda bile bulunduğu anlaşılan NP ve MP' lerin insan psikolojisini etkilemesi de bu kirliliğin insanlara olumsuz etkileri kapsamında dikkate alınması gereken önemli bir konudur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TUBITAK 115Y303 projesi kapsamında desteklenen çalışmalar ışığında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Antunes, J. C., Frias, J. G. L., Micaelo, A. C., Sobral, P. (2013). Resin pellets from beaches of the Portuguese coast and adsorbed persistent organic pollutants. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 62-69.
- Bakir, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C. (2014). Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental Pollution*, 185, 16-23.
- Bråte, I. L. N., Eidsvoll, D. P., Steindal, C. C., Thomas, K. V. (2016). Plastic ingestion by Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the Norwegian coast. *Marine pollution bulletin*, 112(1-2), 105-110.
- Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I., Canning-Clode, J. (2016). Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 178, 189-195.
- Carbery, M., O'Connor, W., Palanisami, T. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environment international*.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman E, Halsband C, Goodhead R, Moger J, Galloway T. S. (2013). Microplastic Ingestion by Zooplankton, *Environmental Science & Technology* 47 (12), 6646-6655.
- Corcoran, P. L., Moore, C. J., Jazvac, K. (2014). An anthropogenic marker horizon in the future rock record. *GSA today*, 24(6), 4-8.
- Cox, K. D., Covernton, G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F., Dudas, S. E. (2019). Human Consumption of Microplastics. *Environmental Science & Technology*, 53, 12, 7068-7074.
- da Costa, J. P., Santos, P. S., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. (2016). (Nano) plastics in the environment—sources, fates and effects. *Science of the Total Environment*, 566, 15-26.
- de Lucia, G. A., Caliani, I., Marra, S., Camedda, A., Coppa, S., Alcaro, L., Campani, T., Giannetti, M., Coppola, D., Cicero, A. M., Panti, C., Baini, M., Guerranti, C., Marsili, L., Massaro, G., Fossi, M. C., Matiddi, M., (2014). Amount and distribution of neustonic micro-plastic off the western Sardinian coast (Central-Western Mediterranean).
- De Tender, C. A., Devriese, L. I., Haegeman, A., Maes, S., Ruttink, T., Dawyndt, P. (2015). Bacterial community profiling of plastic litter in the Belgian part of the North Sea. *Environmental science & technology*, 49(16), 9629-9638.
- Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B., Ren, H. (2017). Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Scientific Reports*, 7, 46687.
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment?. *Marine pollution bulletin*, 104(1-2), 290-293.

- DSÖ, (2019) <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf?ua=1>
- Eckert, E. M., Di Cesare, A., Kettner, M. T., Arias-Andres, M., Fontaneto, D., Grossart, H. P., Corno, G. (2018). Microplastics increase impact of treated wastewater on freshwater microbial community. *Environmental Pollution*, 234, 495-502.
- Erni-Cassola, G., Gibson, M. I., Thompson, R. C., Christie-Oleza, J. A. (2017). Lost, but found with Nile red: a novel method for detecting and quantifying small microplastics (1 mm to 20 µm) in environmental samples. *Environmental science & technology*, 51(23), 13641-13648.
- Free, C. M., Jensen, O. P., Mason, S. A., Eriksen, M., Williamson, N. J., Boldgiv B. (2014). High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake, *Marine pollution bulletin*, 85(1), 156-163.
- Frias, J. P. G. L., Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145-147.
- Galloway, T. S., Cole, M., Lewis, C. (2017). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nature ecology & evolution*, 1(5), 0116.
- Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Tassin B. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in?, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 1-5.
- Hartmann, N., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Herrling, M. P. (2019). Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris, *Environmental science & technology*.
- He, Q., Zhang, Z., Gao, F., Li, Y., Shi, J. (2011). In vivo biodistribution and urinary excretion of mesoporous silica nanoparticles: effects of particle size and PEGylation. *small*, 7(2), 271-280.
- Imran, M., Das, K. R., Naik, M. M. (2018). Co-selection of multi-antibiotic resistance in bacterial pathogens in metal and microplastic contaminated environments: An emerging health threat. *Chemosphere*.
- Jepsen, E. M., de Bruyn, P. N. (2019). Pinniped entanglement in oceanic plastic pollution: A global review. *Marine Pollution Bulletin*, 145, 295-305.
- Kaya, A. T., Yurtsever, M., Bayraktar, S. C. (2018). Ubiquitous exposure to microfiber pollution in the air. *The European Physical Journal Plus*, 133(11), 488.
- Kirstein, I. V., Kirmizi, S., Wichels, A., Garin-Fernandez, A., Erler, R., Löder, M., Gerdt G. (2016). Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles, *Marine Environmental Research*, 120, 1-8.
- Koelmans, A. A., Bakir, A., Burton, G. A., Janssen, C. R. (2016). Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies. *Environmental science & technology*, 50(7), 3315-3326.
- Koelmans, A. A., Nor, N. H. M., Hermsen, 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.
- Kosuth, M., Mason, S. A., Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PloS one*, 13(4), e0194970.
- Lehner, R., Weder, C., Petri-Fink, A., Rothen-Rutishauser, B. (2019). Emergence of nanoplastic in the environment and possible impact on human health, *Environmental Science & Technology*, 53(4), 1748-1765.
- Liebezeit, G., Liebezeit E. (2014). Synthetic particles as contaminants in German beers, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31(9): 1574-1578.
- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., Kaminuma T. (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment, *Environmental Science and Technology* 35(2): 318-324.
- Mendoza, L. M. R., Karapanagioti, H., Álvarez, N. R. (2018). Micro (nanoplastics) in the marine environment: Current knowledge and gaps. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 47-51.
- Nelms, S. E., Galloway, T. S., Godley, B. J., Jarvis, D. S., Lindeque, P. K. (2018). Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environmental Pollution*, 238, 999-1007.
- Neu, L., Bänziger, C., Proctor, C. R., Zhang, Y., Liu, W. T., Hammes, F. (2018). Ugly ducklings—the dark side of plastic materials in contact with potable water. *npj Biofilms and Microbiomes*, 4(1), 7.
- Park, E. J., Bae, E., Yi, J., Kim, Y., Choi, K., Lee, S. H., Park, K. (2010). Repeated-dose toxicity and inflammatory responses in mice by oral administration of silver nanoparticles. *Environmental toxicology and pharmacology*, 30(2), 162-168.
- Pauly, J. L., Stegmeier, S. J., Allaart, H. A., Cheney, R. T., Zhang, P. J., Mayer, A. G., Streck, R. J. (1998). Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue. *Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers*, 7(5), 419-428.
- Peng, X., Chen, M., Chen, S., Dasgupta, S., Xu, H., Ta, K., Bai, S. (2018). Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean. *Geochemical Perspectives Letters*, 9, 1-5.

- Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health?. *Environmental Pollution*, 234, 115-126.
- Rafiee, M., Dargahi, L., Eslami, A., Beirami, E., Jahangiri-rad, M., Sabour, S., Amereh, F. (2018). Neurobehavioral assessment of rats exposed to pristine polystyrene nanoplastics upon oral exposure. *Chemosphere*, 193, 745-753.
- Reed, C. (2015). Dawn of the Plasticene age. *New Scientist*, 225(3006), 28-32.
- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., Teh, S. J. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific reports*, 3, 3263.
- Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V., Lam, R., Miller, J. T., Teh, S. J. (2015). Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific reports*, 5, 14340.
- SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies. (2018). *A Scientific Perspective on Microplastics in Nature and Society*. Berlin: SAPEA.
- Schmidt, C., Lautenschlaeger, C., Collnot, E. M., Schumann, M., Bojarski, C., Schulzke, J. D., Stallmach, A. (2013). Nano- and microscaled particles for drug targeting to inflamed intestinal mucosa—A first in vivo study in human patients. *Journal of Controlled Release*, 165(2), 139-145.
- Schwabl P., Liebmann B., Köppel S., Reiberger T., Assessment of microplastic concentrations in human stool – Preliminary results of a prospective study, International Conference On Emerging Contaminants (EmCon) In Oslo, June 2018.
- Sharma, S., Chatterjee, S. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27), 21530-21547.
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C., Ni, B. J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water research*.
- Thiel, M., Luna-Jorquera, G., Álvarez-Varas, R., Gallardo, C., Hinojosa, I. A., Luna, N., Portflitt-Toro, M. (2018). Impacts of marine plastic pollution from continental coasts to subtropical gyres—fish, seabirds, and other vertebrates in the SE Pacific. *Frontiers in Marine Science*, 5(238).
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838.
- Viršek, M. K., Lovšin, M. N., Koren, Š., Kržan, A., Peterlin, M. (2017). Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*. *Marine pollution bulletin*, 125(1-2), 301-309.
- Waring, R. H., Harris, R. M., Mitchell, S. C., (2018). Plastic contamination of the food chain: A threat to human health?. *Maturitas*.
- Weber A., (2018). What about us? Effects of nano- and microplastics on human immune cells, micro2018, Spain.
- Wright, S.L., Kelly, F.J., (2017). Plastic and human health: a micro issue? *Environ. Sci. Technol.* 51 (12), 6634-6647.
- Yurtsever, M. (2018). Microplastic pollution threat in table salt that an abiotic sea product. *Su Ürünleri Dergisi*, 35(3), 243-249.
- Yurtsever, M., Balcı S.Z., (2018). Steril Alanlar Ne Kadar Steril? Mikro-Nanoplastik Kirliliği, 4th. National Environmental Management Symposium In Health Organizations, İstanbul.
- Yurtsever, M., Yurtsever, U. (2019). Use of a convolutional neural network for the classification of microbeads in urban wastewater, *Chemosphere*, 216, 271-280.
- Zalasiewicz, J., Waters, C. N., do Sul, J. A. I., Corcoran, P. L., Barnosky, A. D., Cearreta, A., McNeill, J. R. (2016). The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. *Anthropocene*, 13, 4-17.
- Zettler, E. R., Mincer, T. J., Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the “plastisphere”: microbial communities on plastic marine debris. *Environmental science & technology*, 47(13), 7137-7146.