



Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni
Bulletin of Veterinary Pharmacology and Toxicology Association
e-ISSN: 2667-8381, 12 (2): 79-88, 2021
DOI: 10.38137/vftd.922677

SU KAYNAKLARINDA MİKROPLASTİKLERİN VARLIĞI VE İNSAN SAĞLIĞI AÇISINDAN ÖNEMİ

Ömer ÇAKMAK^{1a}, Ulaş ACARÖZ^{2b}

¹İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Yüksekokulu, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü,
İstanbul

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Besin/Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı,
Afyonkarahisar

ORCID^a: 0000-0002-7898-1764, ORCID^b: 0000-0002-1533-4519

*Sorumlu Yazar: Ömer ÇAKMAK
E-Posta: omercakmak@esenyurt.edu.tr

Geliş Tarihi: 20.04.2021
Kabul Tarihi: 26.08.2021

ÖZET

Dünya genelinde plastik kullanımı yılda 300 milyon tonun üzerindedir. Üretilen plastiğin büyük bir kısmı, fiziko-kimyasal işlemlerle daha küçük partiküllere parçalanırlar. Standart bir tanımı olmamakla birlikte genellikle mikroplastikler 5 mm'den küçük ancak 1 µm veya 100 nm'den büyük plastik partiküller olarak kabul edilir. Ortamdaki mikroplastikler, eklendikleri kişisel temizlik ürünleri (örneğin güneş kremleri ve diğer kozmetik ürünler) ile endüstriyel ürünlerin (boyalı yüzeyler, lastikler ve sentetik kumaşların) parçalanması sonucu meydana gelebilmektedir. Bu çeşitli kaynaklar, doğal çevrenin mikroplastiklerle yaygın şekilde kirlenmesine yol açmıştır. Plastiklerin ayırım gözetmeksizin kullanımı ve atıklarının yetersiz bertarafı küresel düzeyde ekosistemde ciddi endişelere yol açmaktadır. Mikroplastik kirliliğin yaygınlaşması canlı organizmalar üzerindeki zararlı etkilerine dair endişeleri de arttırmaktadır. Mikroplastikler son zamanlarda içme suyunda ve içme suyu kaynaklarında tespit edilmiştir. Bununla birlikte, mikroplastikler için standart örnekleme, ekstraksiyon ve tanımlama yöntemleri olmadığından içme suyundaki varlığına yönelik araştırmalar sınırlıdır. Bilimsel kanıtlar, mikroplastiklere maruziyet sonucu çeşitli hücre ve organlarda toksik etkiler, beslenmenin bozulmasından üreme sisteminde yan etkilere, karaciğer fizyolojisinde olumsuz değişimlere, enerji metabolizması bozulmalarına kadar çeşitli etkilere neden olduğunu ortaya koymaktadır. Mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki riskleri değerlendirildiğinde içme suyunda oluşumu hakkında daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, mikroplastiklerin potansiyel kaynaklarının azaltılması, atıksu arıtma teknolojileri ve atık yönetimi bakımından yasal düzenlemeler önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastik, Halk Sağlığı, İçme Suyu, Su Güvenliği.

MICROPLASTICS PRESENCE IN WATER SOURCES AND ITS IMPORTANCE FOR HUMAN HEALTH

ABSTRACT

The use of plastic worldwide is over 300 million tons per year. Most of the plastic produced is broken down into smaller particles by physico-chemical processes. Although there is not a standard definition for microplastics, they are generally considered as plastic particles smaller than 5 mm but larger than 1 µm or 100 nm. Microplastics in the environment can be derived from the breakdown of personal cleaning products (eg sunscreens and other cosmetic products) and industrial products (painted surfaces, tires, and synthetic fabrics) to which they are added. These various sources have led to widespread contamination of the natural environment with microplastics. The indiscriminate use of plastics and the inadequate disposal of their waste cause serious concerns about ecosystem quality at the global level. The widespread use of microplastic pollution also raises concerns about its harmful effects on living organisms. Microplastics have recently been detected in drinking water and drinking water supplies. However, since there are no standard sampling, extraction and identification methods for microplastics, there is a limited number of studies on their presence in drinking water. Scientific evidence reveals that exposure to microplastics causes a wide range of toxic effectson different cells and organs, from nutritional deterioration to reproductive performance, adverse alterations in liver physiology, energy metabolism impairments. Further studies are needed on the formation of microplastics in drinking water in terms of risk assessment on human health. In addition, legal regulations are important in terms of reducing potential sources of microplastics, wastewater treatment technologies and waste management.

Keywords: Drinking Water, Microplastics, Public Health, Water Safety.

GİRİŞ

Mikroplastikler kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinin içerisindeki küçük plastikler olup çevreye atılan büyük plastik atıkların zamanla parçalanması sonucunda da oluşur ve çevresel ortamlardaki diğer kirleticilerin taşınımında büyük rol oynar (Guzzetti ve ark., 2018).

Özellikle son yıllarda çeşme suyu, şişelenmiş su, arıtılmış içme suyu ve su kaynaklarında (göl ve nehir sularında) mikroplastiklerin varlığı gündeme gelmektedir (Mintenig ve ark., 2019; Wang ve ark., 2020). İçme suyunda mikroplastik varlığı ve insan sağlığına yönelik risklerine ilişkin endişeler söz konusudur (Campanale ve ark., 2020). Mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri tam olarak bilinmese de, bazı potansiyel tehlikelerin olabileceği bildirilmektedir. Bu maksatla, mikroplastiklerin toksisitesini incelemek için hem in-vivo hem de in-vitro çalışmalar yapılmıştır. Mikroplastiklerin insan sağlığını olumsuz etkilediği ve hücre ölümüne yol açtığı belirtilmektedir (Choi ve ark., 2020; Hou ve ark., 2021). İçme suyundaki mikroplastiklerin konsantrasyonu ile ilgili mevcut yasal sınırlama olmamasına rağmen, su arıtma tesisleri tarafından mevcut miktarın azaltılması veya ortadan kaldırılmasına yönelik önlemler alınması önemlidir (Novotna ve ark., 2019). Mevcut içme suyu arıtma teknolojilerinin özellikle sularındaki mikroplastiklerin arındırılmasına uygun olacak şekilde yenilenmesine yönelik çalışmalar da mevcuttur ve en yüksek etkiye sahip Ultra Filtrasyon uygulamasının olduğu ifade edilmektedir (Mintenig ve ark., 2017; Ma ve ark., 2019).

İçme suyunda mikroplastik analizi yapmak için özellikle örnekleme ve ekstraksiyon prosedürleri açısından standart bir yöntem geliştirilemediğinden mevcut analitik yöntemler arasında farklılık görülmektedir (Koelmans ve ark., 2019).

MİKROPLASTİKLERİN TANIMI

1970'li yılların başında, milimetre ölçekli plastikler ilk olarak denizlerde ve balıklarda gözlemlenmiştir (Carpenter ve ark., 1972). Su kaynaklarına giren çeşitli şekilde ve büyüklükteki plastiklerin güneşe maruz kalması, oksijen reaksiyonu ve fiziksel etkilerinden dolayı bozulması neticesinde küçük parçalara ayrılmasına neden olur. Bu mikroskobik plastik parçalarına mikroplastik denir. Mikroplastik terimi ilk kez Thompson ve ark. (2004) tarafından <5 mm plastik parçacıklar olarak tanımlanmıştır (Andrady, 2011). Bu tanım, suda çözünmeyen birincil veya ikincil üretim kaynaklı, normal ya da düzensiz şekilli 1 µm-1 mm arasında değişen boyutlara sahip sentetik katı parçacıkları veya polimerik matrisleri temsil edecek şekilde geliştirildi (Verschoor, 2015; Lusher ve ark., 2017). Tablo 1'de boyutlarına göre plastiklerin sınıflandırılması gösterilmiştir.

Tablo 1. Boyutlarına göre plastiklerin sınıflandırılması (Tutoğlu, 2019).

Plastiklerin Sınıflandırılması	
Plastik Adı	Uzunluk Değeri
Megaplastikler	>1 m
Makroplastikler	<1 m
Mezoplastikler	<2,5 cm (25 mm)
Büyük Mikroplastikler	1 mm – 5 mm
Küçük Mikroplastikler	1 mm – 20 µm (0,02 mm)
Nanoplastikler	1 nm – 100 nm

Mikroplastiklerin birincil kaynaklarını kalıplamada kullanılan plastik tozlar ve kozmetik ürünlerdeki mikro boncuklar oluşturmaktadır. İkincil kaynaklarını ise büyük plastiklerin parçalanması sonucunda ortaya çıkan parçalanma ürünleri oluşturmaktadır (Andrady, 2011; GESAMP, 2015).

Birincil kaynaklar, genellikle kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde kullanılan mikro boncuklar olarak adlandırılan küçük plastikler ve temizleme özellikli ürünlerin aşındırıcı etkisini arttırmak için

kullanılan yan ürünler oluşturmaktadır (Juliano ve Magrini, 2017). Mikroboncuklar, lavaboda yıkandıklarında mikroskopik yapılarından dolayı su sistemlerine ve daha sonra da doğal su yollarına girebilmektedirler (Cole ve ark., 2011).

İkincil mikroplastik kaynakları, büyük plastiklerin güneşin etkisi, sert rüzgarlara ve fiziksel parçalanmaya maruz kalması sonucunda daha küçük parçacıklara ayrışması neticesinde ortaya çıkar (Andrady, 2011; Song ve ark., 2017). Sentetik tekstil ürünleri ve giysiler de büyük mikroplastik üretimine neden olur. Örneğin çamaşırların yıkanması sırasında kimyasallar ve deterjanlara maruziyet nedeniyle aşınma, sentetik elyafların daha küçük mikro elyaflara parçalanmasına neden olur (Browne, 2015). Deniz ortamında plastiklerin varlığı, balıkçılık ve su ürünlerinde ekonomik kayıplara ve halk sağlığı problemlerine yol açmaktadır (Hardesty ve ark., 2015). Bununla birlikte, denizlerdeki plastik kirliliği küçük zooplanktonlardan en büyük balinalara kadar 700'den fazla türü içermektedir (Xanthos ve Walker, 2017).

İÇME SUYUNDA MİKROPLASTİKLERİN VARLIĞI

Doğada çevresel kirlenme sonucu bulunan büyük plastiklerin rüzgara ve ışığa maruz kalarak sürekli parçalanması sonucu mikroplastikler oluşmaktadır. Mikroplastiklerin tarım arazilerine, besin zincirine ve ekosistemlere karışması sonrasında küresel olarak farkedildiği bildirilmektedir. Bununla birlikte geçmiş dönemlerde buzullarda mevcut olan yüksek miktardaki mikroplastiklerin küresel ısınmanın

etkisine maruz kalması sonucunda hızla erimeye başlayan buzullardan açık denizlere ulaşmaktadır (Obbard ve ark., 2014). Özellikle kullanılan kozmetik ürünler ile sentetik tekstil ve giyim ürünlerinin yıkanmasında çeşitli liflerin kopması sonucunda ortaya çıkan mikroplastiklerin sucül ekosisteminde bulunmasında atıksu arıtma tesislerinde yeterli düzeyde arıtımın gerçekleşmemesi etkili olmaktadır (Napper ve Thompson, 2016). Mikroplastikler su kaynaklarında ve içme sularında görülmektedir. Bu durumun meydana gelmesinde mevcut bir atıksu arıtma tesisinde filtrasyon sonrası arıtılmış suyun, bir içme suyu kaynağına yakın bölgeye boşalması sonucunda içerdiği çok büyük miktarlarda mikroplastik parçacığının içme sularına geçmesi önemli rol oynamaktadır (Carr ve ark., 2016). İşlenmemiş suyu (hem yüzey hem de yer altı suyu) ve arıtma tesislerinden toplanan arıtılmış içme suyunu inceleyen beş araştırmadan, dördünde mikroplastiklerin varlığı bildirilmiştir (Pivokonsky ve ark., 2018; Mintenig ve ark., 2019; Wang ve ark., 2020). Genellikle arıtılmamış yüzey sularındaki mikroplastik konsantrasyonları yeraltı sularından daha yüksektir (Uhl ve ark., 2018). Ayrıca, şişelenmiş sularda genellikle daha yüksek düzeyde mikroplastik konsantrasyonları gözlemlenmiştir. Çünkü bu sular plastik ambalajlar ile (kapaklar ve şişeler) kirlenebilmektedir (Oßmann ve ark., 2018). İçme sularındaki mikroplastik dağılımı meteorolojik ve coğrafik faktörlerden büyük ölçüde etkilenmektedir (Lusher ve ark., 2017). Bu maksatla; mikroplastiklerin içme sularında varlığına ilişkin yapılmış çalışmalar Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. İçme sularında mikroplastiklerin varlığına ilişkin bazı çalışmalar

Numune Adı	Numune Miktarı	Mikroplastik Miktarı	Boyut	Çeşit	Analiz Metodu	Ülke	Kaynak
Şişelenmiş su	259 adet	315 MP/L ve 10,4 MP/L ortalama konsantrasyonlu	<100 – >100 µm	Parçacık	Floresan Mikroskopu	Çin, Brezilya, Hindistan, Endonezya, Meksika, ABD	Mason ve ark. (2018)
İçme suyu	10 adet	2–44 MP/L tek kullanımlık plastik şişe,	5-20 µm	Parçacık, PET,PP,PE	Raman spektroskopisi	Almanya	Schymanski ve ark. (2018)
Kaynak su	12 adet	28–241 MP/L geri dönüştürülebilir plastik şişe, 4–156 MP/L cam şişe su, 5–20 MP/L karton kaplı su					
Musluk suyu	159 adet	0–61 MP/L	100–5000 µm	Lif, Parçacık, Film	Diseksiyon mikroskopu	Küba, Ekvador, İngiltere, Fransa, Almanya, Hindistan, Endonezya, İrlanda, İtalya, Lübnan, Slovakya, İsviçre, Uganda, ABD	Kosuth ve ark. (2018)

MİKROPLASTİKLERİN TESPİT EDİLMESİNDE KULLANILAN METODLAR

Mikroplastiklerin, tanımlanması mikroskopik yöntemler ile yapılabilmektedir. Bu yöntemin haricinde analiz verilerini destekleyen hassasiyeti yüksek olan spektroskopik metotların kullanılması da önerilmektedir. Mikroplastiklerin karakteristik yapılarının tespit edilmesi amacıyla; FT-IR (Fourier Kızılötesi Dönüştürme) ve Raman spektroskopisi metotlarının kullanılması yaygınlaşmaktadır. Özellikle doğada mikroplastik kirliliğinin artması sonucunda bilimsel amaçlı basit, karşılaştırılabilir ve etkili yöntemlerin kullanılmasında yeni gelişmeler ortaya çıkmıştır. Mikroplastiklerin analizi büyük ölçüde uygun ve

kabul edilebilir analitik yöntem esaslarına bağlıdır. Mikroplastiklerin hem çevrede heterojen olarak dağılmış olması hem de boyutlarının küçük olması tespit edilmesini zorlaştırmaktadır (Lassen ve ark., 2015; Mahon ve ark., 2017; Lusher, 2020). Birçok çalışmada çeşitli numune alma yöntemleri, numune işlemleri ve tespit yöntemleri tanımlanmıştır. Mikroplastikler, polimer türünün tanımlanması yapılmadan önce görsel olarak tanımlanabilirken küçük mikroplastikler ise son teknoloji titreşim mikroskobu teknikleri ve taramalı elektron mikroskobu ile değişkenli görüntü analiz teknikleri kullanılarak tespit edilebilmektedir. Farklı boyutlara, renklere ve bileşimlere sahip olan sentetik polimerlerden oluşan mikroplastik partiküllerin

kesin olarak tanımlanmasında spektroskopik veya spektrometrik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Volkheimer ve ark., 1974; Lassen ve ark., 2015; Mahon ve ark., 2017). Günümüzde genellikle mikroskopi ve spektroskopi analizlerinin kombinasyonundan oluşan tespit yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak, analiz edilen numunelerde tespit etme süresini en aza indirmek ve numunelerde mikron altı plastiklerin belirlenmesi için yeni yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Mikroplastiklerin boyutu <1 mm ve mikron düzeyinde olduğunda mikroskobik analiz, spektroskopik veya termal analiz gibi kimyasal

yöntemlerle birleştirilmelidir. Mikroplastik analizdeki iki temel özellik, fiziksel (boyut, şekil ve renk) ve kimyasal (polimer tipi) unsurlardır. Tek bir analiz yöntemi kullanılarak her iki tür özelliği de tespit etmek zor olduğundan, birden fazla yöntemden oluşan kombinasyon uygulanabilmektedir. Mikroplastiklerin geniş boyut aralığında olması, şekillerinin, renklerinin ve polimer türlerinin karmaşık yapısı araştırmacıların mikroplastik veri sınıflandırmasını zorlaştırmaktadır (Connors ve ark., 2017; Li ve ark., 2018; Koelmans ve ark., 2019). Mikroplastiklerin tanımlanmasında kullanılan metodlar Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Mikroplastik belirleme yöntemleri

S.No.	Metot	Boyut	Avantajları	Kaynak
1	Stereomikroskop	20 µm - 5 mm	Hızlı ve kolay	Erni-Cassola ve ark. (2017)
2	Fourier kızılötesi dönüştürme Spektroskop (FT-IR)	>500µm-10 µm	Kızıl ötesi polikromatik kaynak	Veerasingam ve ark. (2020)
3	Michelson İnterferometre	Nanopartikül	Ucuz ve yüksek çözünürlüklük	Teresa ve ark. (2017)
4	Raman Spektroskopisi	>0,5 µm < 20 µm	Zaman tasarrufu	Araujo ve ark. (2018)
5	Yüzey Geliştirilmiş Raman Spektroskopisi (SERS)	Nanopartikül	Düşük konsantrasyon	Xu ve ark. (2020)
6	Isı Analizi	50-100 µm	Ucuz ve kolay	Peñalver ve ark. (2020)

0,2 µm ile 12 µm arasında değişen gözeneklere sahip elekler veya filtreler, mikroplastikleri işlenmemiş ve işlenmiş içme sularından izole etmek için kullanılmıştır (Strand ve ark., 2018; Mintenig ve ark., 2019).

MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Mikroplastiklerin imalatında kullanılan bazı monomerler ve oligomerler gibi hem kimyasal maddeler hem de dış yüzeyine yerleşen kalıcı özellikteki poliklorlu bifeniller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar, organoklorlu pestisitler gibi hidrofobik organik maddelerin mikroplastikler ile birlikte insan vücuduna alınması durumunda insan

sağlığı üzerinde zararlı etkileri ortaya çıkabilmektedir (Rist ve ark., 2018). Mikroplastiklerin bileşimindeki kimyasal içerik ve fiziksel olarak da partikül büyüklüklerinin boyutsal nitelikleri insan sağlığını olumsuz etkilemektedir (Campanale ve ark., 2020; Padervand ve ark., 2020). Bu nedenle, insan sağlığı üzerine potansiyel tehlikeleri şu şekilde sınıflandırılabilir: fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik (WHO, 2019).

Fiziksel Tehlikeler: Mikroplastiklerin yutulması vücuda alınmasının ardından hayvan organlarına translokasyon yaptığı gözlemlenmiştir (Farrell ve Nelson, 2013). Stock ve ark. (2019) tarafından 1-10 µm arasında değişen mikroplastiklerin insan bağırsak epitel hücrelerine nüfuz edebilecekleri bildirilmiştir. Mikroplastikler, vücuttan daha yavaş atılımlarından kaynaklanabilecek yan etkilere neden olabilmektedir (Anbumani ve Kakkar, 2018).

Kimyasal Tehlikeler: Mikroplastiklerden salınan monomerlerden (veya oligomerlerden) ve mikroplastik yüzeylerine adsorbe edilebilen ağır metaller ile kalıcı organik kirleticilerden kaynaklanmaktadır (Thompson ve ark., 2004). Polikarbonat plastiklerde yaygın olarak bulunan bir monomerdir (Acaroz ve ark., 2019). İnsanların yutma, cilt teması ve solunum yolları ile bu kimyasala maruz kalacağı kabul edilmektedir. Potansiyel olarak çocukluk çağı obezitesine yol açan hormonal bozucu kimyasal bir maddedir (Cingotti ve Jensen, 2019). Bununla birlikte hem sinir hücreleri hem de beyindeki zararlı etkileri deneysel çalışmalarla tespit edilmiştir. Kadınlarda ve erkeklerde üreme bozukluğuna da neden olduğu bildirilmektedir (Rist ve ark., 2018). Fitalatlar, plastiklerin bileşiminde din-oktil fitalat (DnOP) ve di (2-etilheksil) fitalat (DEHP) şeklinde yaygın

olarak kullanılan kimyasal katkı maddeleridir. Çeşitli malzemelerin dayanıklılık ile esneklik özelliklerinin arttırılmasında plastikleştiriciler olarak kullanılmaktadır (Besseling ve ark., 2014). Fitalatlar, insanda endokrin sisteminin bozulmasına ve üreme sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir (Rist ve ark., 2018). Mikroplastikler, meme kanseri bakımından potansiyel olarak bağlantılı olan krom (Cr), bakır (Cu) ve kurşun (Pb) gibi ağır metaller için taşıyıcı vektör olarak rol oynamaktadırlar (Mason ve ark., 2018). Plastik ürünlerin imalatında alev geciktirici olarak kullanılan Polibromludifenil eterler (PBDE) canlılarda toksik etkiye sahiptirler. Ayrıca insanlarda hormon bozukluğu üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur (Rist ve ark., 2018).

Mikrobiyolojik Tehlikeler: *Vibrio parahaemolyticus* dahil insanlar için patojen mikroorganizmalar mikroplastik yüzeylerde kolonileşebilmektedir (Kirstein ve ark., 2016). Mikroplastiklerin toksikolojik etkilerini incelemek amacıyla farklı canlılar üzerinde yürütülen çok sayıda in-vivo çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak doku iltihabı, hücre boyutunda küçülme, hücre ölümü oranında artış olmak üzere çeşitli veriler elde edilmiştir (Sá ve ark., 2015; Ziajahromi ve ark., 2018). Bununla birlikte mikroplastiklerin varlığı diğer kirletici maddelerin emilimini ve toksisitesini artırabilmektedir (Triebkorn ve ark., 2019). Rainieri ve ark. (2018) düşük yoğunluklu polietilen (PE) partikülleri (125-250 µm) ve perflorlu bileşiklerden oluşan karışım ile beslenen zebra balıklarında yüksek miktarda karaciğer vakuolizasyonunu tespit etmişlerdir. Yapılan deneysel bir çalışmada kemirgenlere yutturulan mikroplastiklerin kanda çok güç emilebildiği (< % 1) ancak sınırlı miktarın lenf yoluyla kan dolaşımına ulaşabildiği saptanmıştır

(Bouwmeester ve ark., 2015). Mikroplastik ve nanoplastiklerin > % 90'ının insan vücudundan dışkı yoluyla atıldığı tespit edilmiştir (Smith ve ark., 2018). Büyük boyutlu mikroplastik parçalar hücre membranından geçiş sağlayamamaktadır. Ancak, mikroplastiklerin bağırsakta lokal etkileri sonucunda inflamasyon dolayısı ile bağışıklık sistemi etkilenmektedir. Mikroplastiklerin insan sağlığı üzerine olumsuz etkileri konusundaki mevcut bilgiler sınırlıdır (Rist ve ark., 2018).

Polietilen ve polistiren mikrokürelerinin potansiyel olarak (sırasıyla 3 µm, 16 µm ve 10 µm), kanser hücrelerinin büyümesini teşvik edebilen reaktif oksijen türlerinin oluşumu vasıtasıyla beyinde ve bağırsak epitel hücrelerinde oksidatif stresi tetiklediği bildirilmiştir (Schirinzi ve ark., 2017). Hwang ve ark. (2019) yaptıkları bir çalışmada polipropilen (PP) mikroplastiklerin (20 µm-25 µm-200 µm) hücrel tepkisini çeşitli insan orijinli hücreler kullanarak test etmişler ve hücrelerde inflamatuvar sitokinlerin artışıyla bağışıklık sisteminin uyarılabileceğini bildirmişlerdir.

SULARDA MİKROPLASTİKLERİN İZLENMESİ GEREKSİNİMİ

Sularda mikroplastik varlığı insan sağlığını tehdit etmekte ve endişelere yol açmaktadır (Yurtsever, 2019; Zhang ve ark., 2020), Kaynak sularında, mikroplastikler zamanla birikebileceğinden ve özellikle mikroplastiklerin giderilmesi için mevcut içme suyu arıtma tesislerinin teknolojik olarak uygun tasarlanmadığı göz önüne alındığında bu değer artabilmektedir (Mintenig ve ark., 2017). Bu nedenle, mikroplastikler içme suyu tedarikçileri için gelecek zamanlarda hedef bir kirletici olabilir (Novotna ve ark., 2019).

SONUÇ

Son yıllarda iklim değişiklikleri ve küresel ısınma sonucunda su kaynaklarında azalma meydana gelmektedir. Bununla birlikte mevcut su kaynaklarının plastik atıklar ile kirlenmesi hem çevreyi hem de temiz içilebilir nitelikte su temininde yaşanan sorunlar insan sağlığını tehdit etmektedir. İçme suyu kaynaklarında mikroplastiklerin varlığına yönelik çalışmalarda son zamanlarda artış söz konusudur. Ancak mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin hangi düzeyde olduğuna dair yeterli sayıda araştırma bulunmamaktadır.

İçme sularındaki mikroplastikler son zamanlarda bildirilen yeni kirleticilerdir ve konsantrasyonlarını analiz etmek için standardize bir analiz metodu bulunmamaktadır. Bu nedenle mikroplastiklerin tespiti için güvenilir, sürdürülebilir ve standart bir analiz metodu geliştirilmelidir.

Ülkemizde ve diğer ülkelerde atıksu arıtma tesislerinde mikroplastiklerin giderilmesi arıtma yöntemleri açısından incelenmiştir. Mikroplastiklere ilişkin olarak hem limit bir değer hem de artırılması ile ilgili mevcut yasal bir zorunluluk olmadığından hali hazırdaki arıtma tesislerinin birçoğu mikroplastiklerin giderilmesine uygun olacak şekilde tasarlanmamıştır. Fakat modern arıtma yöntemlerinin uygulanması mikroplastiklerin giderilmesinde etkili olmaktadır. Bu nedenle; atıksu arıtma tesislerindeki çamur birikintisi içerisinde toplanan mikroplastiklerin su kaynaklarını kirlenmesini önlemek amacıyla hem etkili arıtma teknolojileri hem de düzenli bir atık yönetimi uygulanmalıdır. Ayrıca, mikroplastiklere maruz kalmanın en aza indirilmesi için evsel olarak içme suyu filtreleme sistemlerinin kullanımı teşvik edilmelidir. Mikroplastik kirliliğinin kaynakları

belirlenerek içme suyundaki oluşumunun daha iyi anlaşılması için fazla sayıda araştırma yapılmalıdır.

Günümüzde literatür çalışmaları incelendiğinde; mikroplastiklerin insan sağlığına direkt olarak olumsuz bir etkisi olmasa da kimyasal bileşiminde yer alan veya yüzeyinde tutunan fitalatlar, PC, PBDE, PE, PS ve PP gibi maddeler insan sağlığını olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Canlılar üzerinde deneysel amaçlı daha fazla toksikolojik çalışmalar yapılarak akut ve kronik etkiye neden olan mikroplastik miktarının toksik limit değeri belirlenmelidir.

Mikroplastikler, su kaynaklarına ulaştıklarından hem çevresel hem de insan sağlığı açısından potansiyel bir risk faktörüdür. Bu nedenle, toplumlarda medya vasıtasıyla bilinçli olarak plastik kullanımının farkındalığı artırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Acaroz, U., Ince, S., Arslan-Acaroz, D., Gurler, Z., Demirel, HH., Kucukurt, I., Eryavuz, A., Kara, R., Varol, N., & Zhu, K. (2019). Bisphenol-A induced oxidative stress, inflammatory gene expression, and metabolic and histopathological changes in male Wistar albino rats: protective role of boron. *Toxicol Res*, 8 (2), 262-269.
- Anbumani, S., & Kakkar, P. (2018). Ecotoxicological effects of microplastics on biota: A review. *Environ Sci Pollut Res*, 25 (15), 14373-14396.
- Andrady, AL. (2011). Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull*, 62 (8), 1596-1605.
- Araujo, CF., Nolasco, MM., Ribeiro, A., & Ribeiro-Claro, P. (2018). Identification of microplastics using Raman spectroscopy: latest developments and future prospects. *Water Res*, 142, 426-440.
- Ball, H., Cross, R., Grove, E., Horton, A., Johnson, A., Jürgens, M., Read, D., & Svendsen, C. (2019). Sink to River, River to Tap-A Review of Potential Risks From Nanoparticles and Microplastics. UK Water Industry Research Limited, 19/EQ/01/18
- Besseling, E., Wang, B., Lüring, M., & Koelmans, AA. (2014). Nanoplastic Affects Growth of *S. obliquus* and Reproduction of *D. magna*. *Environ Sci Technol*, 48 (20), 12336-12343.
- Bouwmeester, H., Hollman, PCH., & Peters, RJB. (2015). Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. *Environ Sci Technol*, 49 (15), 8932-8947.
- Browne, MA. (2015). Sources and Pathways of Microplastics to Habitats. In Bergmann M, Gutow L, Klages M. Editors. *Marine Anthropogenic Litter*. 2015. pp. 229-244.
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, VF. (2020). A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *Int J Environ Res Public Health*, 17 (4), 1212. 1244.
- Carpenter, EJ., & Smith, KL. (1972). Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Sci*, 175 (4027), 1240-1241.
- Carr, SA., Liu, J., & Tesoro, AG. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res*, 91, 174-182.
- Choi, D., Bang, J., Kim, T., Oh, Y., Hwang, Y., & Hong, J. (2020). In vitro Chemical and physical toxicity of polystyrene microplastics in human-derived cells. doi:10.21203/rs.3.rs-16642/v1.
- Cingotti, N., & Jensen, GK. (2019). Health and Environment Alliance (HEAL). Food Contact Materials and Chemical Contamination. Health and Environment Alliance, Brussels, Belgium, 2019.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, TS. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar Pollut Bull*, 62 (12), 2588-2597.
- Connors, KA., Dyer, SD., & Belanger, SE. (2017). Advancing the quality of environmental microplastic research. *Environ Toxicol Chem*, 36 (7), 1697-1703.
- Erni-Cassola, G., Gibson, MI., Thompson, RC., & Christie-Oleza, JA. (2017). Lost, but Found with Nile Red: A Novel Method for Detecting and Quantifying Small Microplastics (1 mm to 20 µm) in Environmental Samples. *Environ Sci Technol*, 51 (23), 13641-13648.
- Farrell, P., & Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environ Pollut*, 177, 1-3.
- GESAMP (2015). Sources, Fate and Effects of Microplastics in The Marine Environment: A Global Assessment. GESAMP Reports and Studies No. 90, Erişim adresi: Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment (Part 1) | GESAMP.
- Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., & Faggio, C. (2018). Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 64, 164-171.
- Hardesty, BD., Holdsworth, D., Revill, AT., & Wilcox, C. (2015). A biochemical approach for identifying plastics exposure in live wildlife. *Methods in Ecology and Evolution*, 6 (1), 92-98.
- Hwang, J., Choi, D., Han, S., Choi, J., & Hong, J. (2019). An assessment of the toxicity of polypropylene microplastics in human derived cells. *Sci Total Environ*, 684, 657-669.
- Hou, B., Wang, F., Liu, T., & Wang, Z. (2021). Reproductive toxicity of polystyrene microplastics: In vivo experimental study on testicular toxicity in mice. *J Hazard Mater*, 405, 124028.

- Juliano, C., & Magrini, GA. (2017). Cosmetic Ingredients as Emerging Pollutants of Environmental and Health Concern. A Mini-Review. *Cosmet*, 4 (11), 1-18.
- Kirstein, IV., Kirmizi, S., Wichels, A., Garin-Fernandez, A., Erler, R., Löder, M., & Gerds, G. (2016). Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. On microplastic particles. *Mar Environ Res*, 120, 1-8.
- Koelmans, AA., Mohamed Nor, NH., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, SM., & De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Res*, 155, 410-422.
- Kosuth, M., Mason, SA., & Wattenberg, EV. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS One*, 13 (4), doi:10.1371/journal.pone.0194970.
- Lassen, C., Hansen, SF., Magnussen, K., Hartmann, NB., Rehne Jensen, P., Nielsen, TG., & Brinch, A. (2015). Microplastics: Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark. Danish Environmental Protection Agency, pp. 1-207.
- Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: a review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Res*, 137, 362-374.
- 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, No. 615. Erişim adresi: Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety (fao.org).
- Lusher, AL., Bråte, ILN., Munno, K., Hurley, RR., & Welden, NA. (2020). Is It or Isn't It: The Importance of Visual Classification in Microplastic Characterization. *Applied spectroscopy*, 74 (9), 1139-1153.
- Ma, B., Xue, W., Hu, C., Liu, H., Qu, J., & Li, L. (2019). Characteristics of microplastic removal via coagulation and ultrafiltration during drinking water treatment. *Chem Eng J*, 359, 159-167.
- Mahon, AM., O'connell, B., Healy, MG., O'connor, I., Officer, R., Nash, R., & Morrison, L. (2017). Microplastics in sewage sludge: effects of treatment. *Environ Sci Technol*, 51 (2): 810-818.
- Mason, SA., Welch, VG., & Neratko, J. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Front Chem*, 6, 1-11.
- Mintenig, S., Int-Veen, I., Löder, M., Primpke, S., & Gerds, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based microFourier-transform infrared imaging. *Water Res*, 108, 365-372.
- Mintenig, S., Löder, M., Primpke, S., & Gerds, G. (2019). Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Sci Total Environ*, 648, 631-635.
- Napper, IE., & Thompson, RC. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Mar Pollut Bull*, 112 (1-2), 39-45.
- Novotna, K., Cermakova, L., Pivokonska, L., Cajthaml, T., & Pivokonsky, M. (2019). Microplastics in drinking water treatment-Current knowledge and research needs. *Sci Total Environ*, 667, 730-740.
- Obbard, RW., Sadri, S., Wong, YQ., Khitun, AA., Baker, I., & Thompson, RC. (2014). Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Future*, 2 (6), 315-320.
- Oßmann, BE., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, SH., & Dicke, W. (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Res*, 141, 307-316.
- Padervand, M., Lichtfouse, E., Robert, D., & Wang, C. (2020). Removal of microplastics from the environment. A review. *Environ Chem Lett*, 18 (3), 807-828.
- Peñalver, R., Arroyo-Manzanares, N., López-García, I., & Hernández-Córdoba, M. (2020). An overview of MPs characterization by thermal analysis. *Chemosphere*, 242, 125170.
- Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T., & Janda, V. (2018). Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Sci Total Environ*, 643, 1644-1651.
- Rainieri, S., Conlledo, N., Larsen, BK., Granby, K., & Barranco, A. (2018). Combined effects of microplastics and chemical contaminants on the organ toxicity of zebrafish (*Danio rerio*). *Environ Res*, 162, 135-143.
- Rist, S., Almroth, BC., Hartmann, NB., & Karlsson, TM. (2018). A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Sci Total Environ*, 626, 720-726.
- Sá, LCD., Luís, LG., & Guilhermino, L. (2015). Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): Confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environ Pollut*, 196, 359-362.
- Schirinzi, GF., Pérez-Pomeda, I., Sanchís, J., Rossini, C., Farré, M., & Barceló, D. (2017). Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environ Res*, 159, 579-587.
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, HU., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Res*, 129, 154-162.
- Smith, M., Love, DC., Rochman, CM., & Roni, N. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Curr Environ Health Rep*, 5 (3):375-386.
- Song, YK., Hong, SH., Jang, M., Han, GM., Jung, SW., & Shim, WJ. (2017). Combined Effects of UV Exposure Duration and Mechanical Abrasion on

- Microplastic Fragmentation by Polymer Type. *Environ Sci Technol*, 51 (8), 4368-4376.
- Stock, V., Böhmert, L., Lisicki, E., Block, R., Cara-Carmona, J., Pack, L.K., Selb, R., Lichtenstein, D., Voss, L., Henderson, L.C., Elke Zabinsky, E., Sieg, H., Braeuning, A., & Lampen, A. (2019). Uptake and effects of orally ingested polystyrene microplastic particles in vitro and in vivo. *Arch Toxicol*, 93 (7), 1817-1833.
- Strand, J., Feld, L., Murphy, F., Mackevica, A., & Hartmann, N.B. (2018). Analysis of microplastic particles in Danish drinking water. Aarhus University, Danish Centre for Environment and Energy. Scientific Report No. 291. Erişim adresi: Analysis of microplastic particles in Danish drinking water (au.dk).
- Teresa, APR., & Armando, CD. (2017). Duarte Characterization and Analysis of Microplastics, Volume 75, Elsevier.
- Thompson, RC., Olsen, Y., Mitchell, RP., Davis, A., Rowland, SJ., John, AWG., McConigle, D., & Russell, AE. (2004). Lost at Sea: Where is All the Plastic? *Sci*, 304 (5672), 838.
- Triebkorn, R., Braunbeck, T., Grummt, T., Hanslik, L., Huppertsberg, S., Jekel, M., Knepper, TP., Kraus, S., Müller, YK., Pittroff, M., Ruhl, AS., Schmiege, H., Schür, C., Strobel, C., Wagner, M., Zumbülte, N., & Köhler, H. (2019). Relevance of nano and microplastics for freshwater ecosystems: A critical review. *Trends Analyt Chem*, 110, 375-392.
- Tutoğlu, N. (2019). Sucul Ortamdaki Mikroplastiklerin İnsan Sağlığına Etkisi Ve Arıtma Yöntemlerinin Araştırılması. Ankara, Türkiye, Uzmanlık Tezi.
- Uhl, W., Eftekhardakhah, M., & Svendsen, C. (2018). Mapping microplastic in Norwegian drinking water. Norwegian Water Report No.241. Erişim adresi: <https://www.eureau.org/resources/publications/3100-norsk-vann-report-on-microplastics-in-drinking-water-1/file>.
- Veerasingam, S., Ranjani, M., Venkatachalapathy, R., Bagaev, A., Mukhanov, V., Litvinyuk, D., Mugilarasan, M., Gurumoorthi, K., Gunganathan, L., Aboobacker, VM., & Vethamony, P. (2020). Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review. *Crit Rev Environ Sci Technol*, 1-63.
- Verschoor, A. (2015). Towards a definition of microplastics: Considerations for the specification of physico-chemical properties. National Institute for Public Health and the Environment. RIVM Letter report 2015-0116, 1-42. Erişim adresi: Towards a definition of microplastics (rivm.nl).
- Volkheimer, G. (1974). Passage of particles through the wall of the gastrointestinal tract. *Environ Health Perspect*, 9, 215-225.
- Wang, Z., Lin, T., & Chen, W. (2020). Occurrence and removal of microplastics in an advanced drinking water treatment plant (ADWTP). *Sci Total Environ*, 700, 134520.
- WHO (2019). World Health Organization, Microplastics in drinking-water. Geneva, Switzerland. Erişim adresi: WHO Microplastics in drinking-water.
- Xanthos, D., & Walker, TR. (2017). International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): A review. *Mar Pollut Bull*, 118 (1), 17-26.
- Xu, G., Cheng, H., Jones, R., Feng, Y., Gong, K., Li, K., Fang, X., Tahir, MA., Valev, VK., & Zhang, L. (2020). Surface-Enhanced Raman Spectroscopy Facilitates the Detection of Microplastics <1 µm in the Environment. *Environ Sci Technol*, 54 (24), 15594-15603.
- Yurtsever, M. (2019). Nano-ve Mikroplastik'lerin İnsan Sağlığı ve Ekosistem Üzerindeki Olası Etkileri. Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 5 (2), 17-24.
- Zhang, Q., Xu, EG., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, EY., & Shi, H. (2020). A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure. *Environ Sci Technol*, 54 (7), 3740-3751.
- Ziajahromi, S., Kumar, A., Neale, PA., & Leusch, FD. (2018). Environmentally relevant concentrations of polyethylene microplastics negatively impact the survival, growth and emergence of sediment-dwelling invertebrates. *Environ Pollut*, 236, 425-431.
- Zuccarello, P., Ferrante, M., Cristaldi, A., Copat, C., Grasso, A., Sangregorio, D., Fiore, M., & Conti, GO. (2019). Exposure to microplastics (<10 µm) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study. *Water Res*, 157, 365-371.