



SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE MİKROPLASTİK VARLIĞI, SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ VE MİKROPLASTİK AYIRMA YÖNTEMLERİ

Fatmagül Halıcı Demir^{1*}, Emel Yılmaz², İrem Damar²

¹Trakya Üniversitesi, Arda Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Edirne, Türkiye

²Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Edirne, Türkiye

Geliş / Received 15.10.2023; Kabul / Accepted: 23.02.2024; Online baskı / Published online: 27.02.2024

Halıcı Demir, F., Yılmaz, E., Damar İ. (2024). Süt ve süt ürünlerinde mikroplastik varlığı, sağlık üzerine etkileri ve mikroplastik ayırma yöntemleri. GIDA (2024) 49 (2) 205-222 doi: 10.15237/gida.GD23130

Halıcı Demir, F., Yılmaz, E., Damar İ. (2024). Presence of microplastic in milk and dairy products, its effects on health and microplastic separation methods. GIDA (2024) 49 (2) 205-222 doi: 10.15237/gida.GD23130

ÖZ

Plastikler kolay işlenebilir, dayanıklı, hafif ve ucuz olması gibi özellikleri nedeniyle günlük yaşamın vazgeçilmez malzemelerinden biridir. Gıda sektöründe özellikle ürünlerin ambalajlanması ve taşınması gibi konulardaki avantajları nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Kullanılan plastikler çeşitli çevresel faktörlerle mikroplastik olarak adlandırılan daha küçük parçacıklar halinde doğada serbest kalmaktadır. Yapılan çalışmalar bu parçacıkların havada, suda ve gıdalarda bulunduğunu göstermiştir. İnsanlarda, kanda ve organlarda da tespit edildiği için mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki olası etkileri endişe uyandırmaktadır. Mikroplastiklerin hem çevre hem de insan sağlığı için küresel bir tehdit haline geldiği göz önüne alındığında, mikroplastiklerin gıdaya olan kontaminasyon kaynaklarının belirlenmesi, kontaminasyonu etkileyen faktörlerin irdelenmesi ve gıdalardaki miktarlarının belirlenmesi için yöntemlerin geliştirilmesi gereklidir. Bu derlemede mikroplastik kavramının açıklanması, mikroplastiklerin sağlık üzerine olan etkileri ile ilgili yapılan çalışmaların özetlenmesi, gıdalarda özellikle süt ve süt ürünlerindeki mikroplastik varlığı ve kontaminasyon kaynakları ile ilgili bilgilerin toplanması ve gıdalarda mikroplastiklerin tespitinde ayırma aşamasında kullanılan yöntemlerin kapsamlı bir şekilde incelenerek sunulması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Mikroplastik, gıda, süt ve süt ürünleri, sağlık, ayırma yöntemleri

PRESENCE OF MICROPLASTIC IN MILK AND DAIRY PRODUCTS, ITS EFFECTS ON HEALTH AND MICROPLASTIC SEPARATION METHODS

ABSTRACT

Plastics are one of the indispensable materials of daily life due to their features such as being easy to process, durable, light and cheap. It is frequently preferred in the food industry due to its advantages, especially in packaging and transportation of products. The plastics are released in nature as smaller particles called microplastics, which are formed due to various environmental factors. Studies have shown that these particles are found in air, water and food. Since microplastics have also been detected in humans, blood and organs, the possible effects of microplastics on human health raise concern. Considering that microplastics have become a global threat to both the environment and human health, it is necessary to identify the sources of contamination of microplastics in food,

*Sorumlu yazar / Corresponding author

✉:fatmagulhalici@trakya.edu.tr

☎: +90(284)214 4756/147

☎: +90(284)214 7553

Fatmagül Halıcı Demir; ORCID no: 0000-0003-3521-1556

Emel Yılmaz; ORCID no: 0000-0002-1766-3762

İrem Damar; ORCID no: 0000-0002-5521-2233

examine the factors affecting contamination, and develop methods to determine their concentrations in food. In this review, it is aimed to explain the concept of microplastics, summarize the studies on the effects of microplastics on health, and collect and present information about the presence of microplastics in foods, especially milk and dairy products, and their contamination routes. In this review, it is aimed to explain the concept of microplastics, summarize the studies on the effects of microplastics on health, collect information about the presence of microplastics in foods, especially in milk and dairy products, and sources of contamination, and comprehensively examine and present the methods used in the separation phase in the detection of microplastics in foods.

Keywords: Microplastic, food, milk and dairy products, health, isolation methods

GİRİŞ

Günümüzde plastik kirliliği küresel bir çevre ve halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. Plastics Europe'a göre, 2021 yılında dünya plastik üretiminin yılda 390.7 milyon ton olduğu ve üretimin sadece %8.3'ünün geri dönüştürülmüş plastik kullanılarak karşılandığı belirtilmiştir (Plastics Europe & EPRO, 2022). Küresel plastik atık üretiminin yıllık 2015 yılında 60 ile 99 milyon metrik ton olduğu, bu sayının 2060 yılına kadar üç katına çıkarak 155-265 metrik tona ulaşacağı raporlanmıştır (Lebreton ve Andrady, 2019). Mevcut atık arıtma sistemlerinde etkili bir iyileştirme yapılmadığı takdirde dünya ortamının (kara, tatlı su, okyanus, hava) 2050 yılına kadar 13.2 milyar plastik atıkla dolacağı tahmin edilmektedir (Silva vd., 2020).

Plastikler, yüksek moleküler ağırlığına sahip uzun zincirli organik polimerlerin bir sınıfıdır (Liu vd., 2021) ve polipropilen (PP), polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), polistiren (PS), poliüretan (PU), polivinil klorür (PVC) ve polikarbonat (PC) gibi türleri başta olmak üzere 45'den fazla farklı plastik türü ticari üretimde kullanılmaktadır (Kannan ve Vimalkumar, 2021). Plastikler kimyasal ve biyolojik bozunmaya karşı dirençli, ucuz, hafif, üretim ve işleme kolaylığı gibi avantajları nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır (Liu vd., 2021). Bertaraflarına ilişkin katı düzenlemelerin bulunmaması, çapı 10 ve 2.5 mikrometreden küçük olan partiküller için düzenlemelerin mevcut olmasına rağmen kontrol yöntemlerinin sınırlı olması ve bazı ülkelerin geri dönüşüm süreçlerinde etkin olmamaları nedeniyle çok sayıda plastik atık, su ve karasal ortamlara girerek ciddi bir çevresel kirliliğe neden olmaktadır (Du vd., 2020, Diaz-Basantes vd., 2020). Genel olarak büyük plastik polimerler inert oldukları ve boyutlarından dolayı bağırsak sistemi

tarafından emilmedikleri için insan metabolizmasında işlenmeden atıldıkları düşünülmektedir. Bu nedenle plastiklerin su ve çevresel kirlilik ve sürdürülebilirlik konuları üzerindeki etkileri dikkat çekmektedir (Wurm vd., 2020). Son yıllarda yapılan araştırmalar ise plastiklerin çevreye ve/veya biyolojik sistemlere girdikten sonra biyotik ve abiyotik ayrışma ve dönüşüm süreçleri yoluyla ortamda mikroplastikler (MP) olarak adlandırılan daha küçük boyutlu parçacıklara dönüştüğünü kanıtlamıştır (Kannan ve Vimalkumar, 2021).

Bunun sonucunda, insanlarda MP'lere maruz kalma yolları ve maruz kalmanın oluşturabileceği sağlık sorunları ile ilgili endişe artmış ve bu risklerin tanımlanması konusunda yapılan araştırmalar ivme kazanmıştır (Sangkham vd., 2022). 2021 yılında dünyada üretilen plastiklerin %44'ü ambalaj endüstrisinde kullanılmıştır (Plastics Europe & EPRO, 2022). Ambalaj materyalinden gıdaya MP geçişi çeşitli araştırmalar (Iniguez vd., 2017; Winkler vd., 2019; Hernandez vd., 2019) ile gösterilmiştir. Bu bağlamda insanlara gıdalar aracılığıyla geçen MP miktarını azaltmak ve gıda güvenliğini sağlamak açısından (Xu vd., 2019; Prata vd., 2020); MP'lerin gıdalara kontaminasyon kaynaklarının belirlenmesi, kontaminasyonu etkileyen faktörlerin saptanması ve kontaminasyonun azaltılması konularında farkındalık artırılmalıdır. Gıdalardaki MP varlığını doğru olarak belirleyebilmek için tespit yöntemlerinin geliştirilmesi ve özelleştirilmesi son derece önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

MİKROPLASTİKLER

Mikroplastik (MP)'ler, düzenli veya düzensiz şekillere ve 1µm ile 5 mm arasında değişen boyutlara sahip sentetik katı parçacıklar veya

polimerik matrisler olarak tanımlanır (Frias ve Nash, 2019). MP'ler, çevresel salınım kaynaklarına göre birincil veya ikincil olarak sınıflandırılır. Birincil MP'ler, yüz temizleyicileri, duş jelleri ve bulaşık süngerlerindeki mikroboncuklar ve giysilerdeki mikrofiberler gibi uygulamalarda kullanılmak üzere kasıtlı olarak <5 mm boyutlarında üretilenlerdir (Kannan ve Vimalkumar, 2021). İkincil MP'ler ise plastik malzemelerin foto, termal, biyolojik ve mekanik degradasyon olarak adlandırılan dört tip çevresel faktör nedeniyle daha küçük ünitelere parçalanmış halleridir (Chamas vd., 2020). Güneş ışınları fotodegradasyon yoluyla plastiğin C-C ve C-H bağlarının kırılmasına neden olur. Sıcaklık artışı, polimerlerin kimyasal ve fiziksel yapısını etkiler ve bu olay termal bozunma olarak tanımlanır. Biyolojik bozunma, mikroorganizmaların aerobik veya anaerobik koşullar altında neden olduğu enzimatik bozunmanın daha spesifik bir türüdür. Mekanik bozulma ise rüzgâr ve su gibi harici aşındırıcı faktörler, fiziksel stres ve tekrarlanan kullanım sonucunda oluşur (Fotopoulou ve Karapanagioti, 2019). Belirli bir çevresel faktörün plastiğin bozunma hızı üzerindeki etkisi, büyük ölçüde plastiğin türüne bağlıdır (Chamas vd., 2020). Bu çevresel faktörler ve bozulma süreçleri plastikleri önce makroplastiklere (>200 mm) dönüştürür. Daha sonra artan parçalanma düzeyleri ile mesoplastikler (5–200 mm) ve mikroplastikler (<5 mm) oluşur. Ayrıca, bozunma süreci ile mikroplastikler nanoplastik (<1 µm) olarak adlandırılan daha küçük nano boyutlu parçacıklara dönüşür (Klein vd., 2018).

MİKROPLASTİK KONTAMİNASYONU

Doğada yaygın olarak bulunan MP örnekleri; üretim öncesi kullanılan plastik peletler, elektronik ekipman, paketler, şişeler, araç parçaları veya lastikler, boyalar, sentetik tekstiller, kişisel bakım ürünleri ve olta takımları gibi çeşitli ürünlerden türetilen parçacıklar veya bileşenler olarak sıralanabilir (Al Mamun vd., 2023). MP'ler küçük parçacık boyutları nedeniyle bu kaynaklardan toprağa, suya ve havaya karışarak, bu ortamların ve ortamda bulunan canlıların kontaminasyonuna sebep olur (Ashrafy vd., 2022).

Su ortamlarının ve sudaki canlıların MP'ler ile yoğun bir şekilde kirlenmesine neden olan faktörler; evsel ve endüstriyel atık suların okyanuslara, göllere ve nehirlere deşarjı, diğer MP kaynaklarının bu su ortamlarına bırakılması, katı atık toplama ve bertaraf sırasında açığa çıkan plastik ve bunların bozulma ürünlerinin rüzgâr gibi faktörlerle su ortamlarına taşınması olarak sıralanabilir (Ashrafy vd., 2022). Tarım alanlarında plastik malçlama ve biyokatıların yaygın kullanımı toprakta MP kontaminasyonuna yol açmaktadır (Huang vd., 2020). MP'ler toprak, gübre, biyokatılar (kompost ve çamur) ve su yoluyla bitki sistemine kolayca geçebilir (Vithanage vd., 2021; Unuofin ve Igwaran, 2023). Toprakta bulunan MP'ler trofik taşıma yoluyla sebzelerde biyolojik olarak birikebilmektedir (Huang vd., 2020). Ek olarak bitkilerin MP ile kontaminasyonunda işçi arıların rolü olduğu ortaya konmuştur (Edo vd., 2021).

Çevresel kontaminasyon kaynaklarının yanında, gıdaların ambalajlanmasında kullanılan çeşitli plastik malzemeler gıdaların MP ile kontaminasyonuna sebep olmaktadır. Isı, UV ışınları ve depolama koşulları ambalaj malzemelerinin bozunumunu etkileyerek MP oluşumuna neden olmaktadır. Özellikle plastik içerikli bardak ve kutularda sıcak servis edilen gıdalardaki MP'lerin, ambalajdaki bu bozunma sonucunda oluştuğu düşünülmektedir (Sridharan vd., 2021). Ayrıca plastik yemek kapları ve bardakların aşırı kullanımı gıdaya doğrudan MP bulaşmasında etkilidir (Jadhav vd., 2021). Du vd. (2020), COVID-19 salgını ile gıda dağıtımı için plastik ambalaj kullanımının arttığını ve buna bağlı olarak MP kontaminasyonunun arttığını bildirmiştir.

Ek olarak gıdalara MP'ler, gıda endüstrisinde kullanılan teknik ve yardımcı ekipman, işleme tesislerinde yer alan havalandırma sistemleri ve işçilerin kullandığı eldiven, bone, maske gibi koruyucu ekipman ve gıda formülasyonuna katılan su, tuz ve katkı maddeleri nedeniyle dahil olmaktadır (Brachner vd., 2020). İçme suyu, bira, süt ve farklı içeceklerde (Shruti vd., 2020), meyveli içecekler ve bazı bal numunelerinde (Kosuth vd., 2018; Pivokonsky vd., 2018) kullanılan ambalaj

malzemelerinden, bira ve süt endüstrisinde kullanılan filtrasyon malzemelerinden ürüne MP geçişi olduğu bildirilmiştir (Diaz-Basantes vd., 2020). İçme suları ise atık ve çöp sahası sızıntılarından ve su şebekelerinde kullanılan borulardan dolayı MP açısından kirlenebilmektedir (Sewwandi vd., 2023). Gıdalarda en yaygın tespit edilen MP'ler PP, PET, PVC, PE, PS, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), poliamid (PA) ve genişletilmiş polistiren (EPS), vb.'dir (Afrin vd., 2022).

MİKROPLASTİKLERİN SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Genel olarak MP'ler insan vücuduna sindirim (yiyecek ve içecekler), solunum (hava) ve deri teması (kişisel bakım ve tekstil ürünleri) olmak üzere üç ana yolla girerler. En önemli kontaminasyon yolu ise MP ile kontamine gıdaların günlük diyetle tüketilmesidir (Prata vd., 2020). İnsanların kontamine toprakta yetişen bitkilerin tüketimi ile günlük yaklaşık 80 g (Ebere vd., 2019) ve sofraya tuzu tüketimi ile yıllık 150 partikül (Özçifçi vd., 2023) MP aldığı bildirilmiştir.

Yutma yoluyla MP'lere maruz kalmak, mide-bağırsakta ve endokrin sisteminde meydana gelen ve toksisite dahil olmak üzere bir dizi sağlık sorunu ile ilişkilendirilmiştir (Emenike vd., 2023). 150 µm'den daha küçük partiküller memeli vücutlarındaki gastrointestinal epitelyumu geçebilir ve sistemik maruziyete neden olur (Barboza vd., 2018). Boyutu 10 µm'den küçük MP'ler bağırsaktan emilerek dolaşım ve lenfatik sistemlere geçebilir. Ayrıca beyin, karaciğer ve böbrek dokularında da birikebilir (Yong vd., 2020). Leslie vd., (2022) geliştirdikleri analitik yöntem ile 22 sağlıklı gönüllüden alınan insan kanında PET, PE, PS ve polimetil metakrilat (PMMA) polimerlerini ilk kez tanımlamışlar ve kanda toplam MP konsantrasyonu ortalama değerinin ise 1.6 µg/ml olduğunu tespit etmişlerdir. Ragusa vd., (2021) ise 6 insan plasentası üzerinde yaptıkları çalışmada, 4 plasentada (5'i fetal tarafta, 4'ü anne tarafında ve 3'ü koryoamniyotik membranlarda) boyutları 5 ile 10 µm arasında değişen küresel veya düzensiz

şekilli 12 MP parçayı ilk kez tespit etmişlerdir. Bu çalışmalar ile plastik parçacıkların biyolojik olarak insan kan dolaşımında bulunabileceği ve fetüse temel besinlerin yanında MP'lerin de taşınabileceği gösterilmiştir.

Bununla birlikte MP'lerin insan vücudundaki birikimi, membranlar arası adsorpsiyonu, ikincil organlara ve dokulara translokasyonu, akut ve uzun süreli etkileri henüz tam anlamıyla tanımlanamamıştır. Ancak farklı solunum yolu hastalıklarından şikayetçi olan toplam 22 hastanın balgamında PU baskın olmak üzere çoğunun boyutu 500 µm'den küçük 21 farklı MP türü saptanmıştır (Huang vd., 2022). Ek olarak, 15 kalp cerrahisi hastasında beş doku türünde en büyüğü 469 µm çapında olmak üzere 9 tür MP ve bu hastalardan ameliyat öncesi ve sonrası alınan kan örneklerinde de maksimum çapı 184 µm olan 9 farklı tür MP tespit edilmiştir. Ayrıca, sol atriyal apendikste, epikardiyal yağ dokusunda ve perikardiyal yağ dokusunda bulunan PMMA'nın ameliyat sırasında herhangi bir işlemde kaynaklanmadığı ve hastaların dokularında doğrudan bulunduğu raporlanmıştır (Yang vd., 2023). Schwabl vd. (2019), insan dışkı örneklerinde ortalama 20 MP/10 g dışkı tanımlamış ve dışkı örneklerinin en az 9 farklı plastik türü içerdiğini ve en yaygın türlerin PET ve PP olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda elde edilen bulgular, MP'lerin insan sağlığı üzerine olumsuz etkilerinin bulunabileceğine yönelik endişeleri arttırmaktadır.

Mikroplastikler genellikle katkı maddeleri, ağır metaller ve diğer organik kirleticilerle ilişkilendirilir. Poliklorlu bifeniller, poliaromatik hidrokarbonlar, organoklorlu pestisitler, Bisfenol A (BPA) ve ftalatlar dahil birçok organik kirleticinin MP'lerin yüzeyine absorbe olduğu bildirilmektedir (Bouwmeester vd., 2015). Ek olarak, MP'ler hidrofobik yüzeylere sahip olmaları nedeniyle mikrobiyal bağlanma, kolonizasyon ve taşıma için stabil veya sabit bir bağlanma ortamı oluştururlar (Zhang vd., 2020; Unuofin ve Igwaran, 2023). Organik kirleticileri ve patojen ya da patojen olmayan mikroorganizmaları taşıyan MP'ler besin zinciri yoluyla insan vücuduna girmektedir (Al Mamun vd., 2023). MP'ler ve bu

absorbantlar insanlarda kimyasal ve fiziksel toksik etkiye (Cox vd., 2019) ve buna bağlı olarak, oksidatif stres, gen ekspresyonu modifikasyonu, diyabet, endokrin sistem bozulması, immünolojik tepkiler, kardiyovasküler komplikasyonlar, akciğer hastalıkları, genotoksisite, nörotoksisite gelişim ve üreme sorunları dahil olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Alimba ve Faggio, 2019; Prata vd., 2020; Joseph vd., 2023). Mikroplastik alımının kapsamı ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkisi konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

GIDALARDA MİKROPLASTİK VARLIĞI

Günlük hayatta tüketilen çeşitli gıdalarda önemli miktarda MP varlığının tespiti, MP kirliliğinin evrensel bir sorun olduğunu ortaya koymuş ve bu konuda endişeleri arttırmıştır (Unuofin ve

Igwaran, 2023). MP'ler küçük boyutları nedeniyle pelajik ve bentik ekosistemlerde yaygın olarak bulunmaktadır. Bu ortamlarda bulunan sucul biyota aracılığıyla insan besin zincirine aktarılmaktadır (Sharma ve Chatterjee, 2017). Su ortamındaki MP'lerin diğer gıdalara kolayca taşınması, su ve deniz ürünlerinde MP varlığı konusunda özel bir odak noktası oluşturmuş, bu ürünlerde MP varlığını ortaya koyan birçok çalışma yapılmıştır (Pironti vd., 2021). Bunun yanı sıra içme suyu, alkolsüz içecekler, çay, şarap, alkol, enerji içecekleri, süt, bira ve kahve gibi içeceklerde, bal, tuz, şeker, et, meyve ve sebze gibi birçok gıda da MP varlığı bildirilmiştir (Yaranal vd., 2021; Sewwandi vd., 2023). Çizelge 1'de bazı gıdalarda mikroplastik varlığı ile ilgili yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Çizelge 1. Farklı gıda maddelerindeki mikroplastik varlığına ait bazı çalışmalar

Grup	Ülke	Numune	Mikroplastik sayısı/varlığı	Boyut	Kaynak
		<i>Scylla serrata</i> (Çamur yengeci)	1.8±0.21 MP/g		
		<i>Penaus monodon</i> (Karides)	1.7±0.29 MP/g		
		<i>Katsunonus pelamis</i> (Yazlı Orkinos)	1.42±0.29 MP/g		
		<i>Perna perna</i> (Kahverengi midye)	1.4±0.06 MP/g		
	Sri Lanka	<i>Hemiramphus archipelagicus</i> (Zıplayan yarım gaga)	1.17±0.14 MP/g	>0.6 µm	Kandeyaya vd., (2023)
		<i>Stolephorus commersonii</i> Commerson's hamsi)	0.83±0.10 MP/g		
		<i>Sardinella gibbosa</i> (Goldstripe sardalya)	0.82±0.30 MP/g		
		<i>Sepia sp.</i> (Sübye) (Sindirim sistemi)	0.04±0.02 MP/g		
	Ekvador	26 farklı türe ait 390 deniz örneği (Sindirim sistemi)	390 örneğin 277 tanesinde (%71.5±22.2) MP tespit edilmiştir	>200 µm	Cáceres Farias vd., (2023)
	Avustralya	3 farklı Karides türü (gastrointestinal sistemi içeren yumuşak doku)	0.8±0.1 MP/birey	>38 µm	Ogunola vd., (2022)
		2 farklı Yengeç türü (Mide-Bağırsak yolu)	1.6±0.1 MP/birey		
	Güneybatı Atlantik	<i>Pleoticus muelleri</i> (Karides) (gastrointestinal sistem ve karın kasti)	3.0±2.90 MP/g yaş ağırlık	>5 mm	Colombo vd., (2023)
Deniz ürünleri	Türkiye	<i>Patella caerulea</i> (Yumuşak dokuları)	0.20±0.5 - 0.45±0.7 MP/birey	0.13-4.3 mm	Yücel ve Kılıç, (2023)
	Çin	Kabuklu deniz hayvanları	1.88±1.44 MP/birey	<1.0 mm	Pan vd., (2022)
		Bahklar	1.98±1.98 MP/birey		
	İspanya	<i>S. pilchardus</i> (Sardalya)	1.77±1.42 MP/birey	0.3-5 mm	Filgueiras vd., (2020)
		<i>M. surmuletus</i> (Tekir)	1.56±0.53 MP/birey		
		<i>E. encrasicolus</i> (Hamsi)	1.92±0.95 MP/birey		
		<i>Callionymus lyra</i> (Uzgun Bahğı) (Sindirim sistemleri)	2.53±0.53 MP/birey		
	İtalya	3 farklı markaya ait deniz tuzu	1653±29 MP/kg	0-500 µm	Di Fiore vd., (2023)
	Çin	Kristalizasyon ile üretilen ham deniz tuzu	256±26 parçacık/10g	-	Li vd., (2023)
		Kırılmış ve yıkanmış deniz tuzu	6±5 - 112±30 parçacık/10g		

Çizelge 1. devam

Grup	Ülke	Numune	Mikroplastik sayısı/varlığı	Boyut	Kaynak	
Tuz	Lübnan	16 farklı markaya ait tuz	159.6±157.6 MP/kg	> 0.7 µm	Nakat vd., (2023)	
	İran	4 farklı markaya ait kaya tuzu;	55.2±43.7 MP/kg	> 0.45 µm	Makhdoumi vd., (2023)	
		Optik stereomikroskopik				
			Boyama (Nil Red) stereomikroskopik	151.3±61.8 MP/kg		
	İran	13 farklı markaya ait deniz tuzu	1356±533 MP/kg	> 0.45 µm	Taghipour vd., (2023)	
		13 farklı markaya ait kaya tuzu	1475±902 MP/kg			
		8 farklı markaya ait dökme tuzu	1278±553 MP/kg			
	Türkiye	6 farklı markaya ait standart dışı tuz	1825±1808 MP/kg			
		8 farklı markaya ait Deniz tuzu	39±30 MP/kg	>0.45 µm	Özçifçi vd., (2023)	
		12 farklı markaya ait Göl tuzu	28±9 MP/kg			
		16 farklı markaya ait Kaya tuzu	44±26 MP/kg			
		İran	5 Kristalize tuz örneği	151.4 ± 48.8 MP/kg	>0.45 µm	Sharifi ve Movahedian Attar, (2021)
			4 Rafine deniz tuzu örneği	406.7 ± 93.3 MP/kg		
	2 Rafine edilmemiş deniz tuzu örneği		1288.6 ± 184.9 MP/kg			
Hindistan	4 Kaya tuzu örneği	283.4 ± 97 MP/kg				
	10 ticari markaya ait deniz tuzu	<700 MP/kg	3.8 µm-5 mm	Sivagami vd., (2021)		
Şeker	Bangladeş	5 markalı ve 2 markasız şeker	343.7±32.08 MP/kg	<300 µm	Afrin vd., (2022)	
	İtalya	2014-2018 yılları arası İtalya'da farklı üzüm çeşitlerinden üretilen 26 şişe beyaz şarap	2563-5857 MP/L	0.1 µm	Prata vd., (2020)	
Farklı İçecekler	Meksika	13 farklı markaya ait 26 Bira	0-28±5.29 MP/L	100-3000 µm	Shruti vd., (2020)	
	Ekvator	8 Endüstriyel markaya ait Bira	47 MP/L	130-6700 µm	Diaz-Basantes vd., (2020)	
		7 Geleneksel markaya ait Bira	32 MP/L			
	Türkiye	10 markaya ait 30 meşrubat örneği	8.9±2.95 MP/L	10-100 µm	Altunışık, (2023)	
	Meksika	10 markaya ait 19 meşrubat örneği	40±24.53 MP/L	100-300 µm	Shruti vd., (2020)	
	Ekvator	14 markaya ait meşrubat	32 MP/L	5.47-2224.25 µm	Diaz-Basantes vd., (2020)	
	İran	11 markaya ait mineralli su	8.5±10.2 MP/L	1280-4200 µm	Makhdoumi vd., (2021)	
Yumurta	Çin	5 farklı üreticiden temin edilen yumurta	11.67±3.8 MP/yumurta	50-100 µm	Liu vd., (2022)	

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE MİKROPLASTİK VARLIĞI

Süt ve süt ürünlerinde gıda güvenliği açısından fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik tehlikeler sıkı denetim altında olmasına rağmen, mikroplastik tehlikesi ile ilgili henüz tam anlamıyla bir farkındalık oluşmamıştır (Kutralam-Muniasamy vd., 2020). Oysaki, süt ve süt ürünlerinin

üretiminde; süt sağımı sırasında, tedarik zinciri boyunca, endüstriyel işlemler sırasında, son paketlenme ve depolama aşamalarında kullanılan plastik malzemelerin süt için kontaminasyon kaynağı olabileceği bildirilmiştir (Da Costa Filho vd., 2021). Süt ve süt ürünlerine mikroplastik geçişi; sütün titreşimli vakumlu kauçuk kaplı meme başlıkları içeren sağım makineleri ile

sağılmasında makineden, sütün fabrikaya nakli sırasında yalıtımlı tanklarla donatılmış özel olarak tasarlanmış tankerlerden gerçekleştirilebilir. Ek olarak, fabrikaya gelen sütler PE veya PVC malzemelerden oluşan boru hatları ile fabrika içine aktarılmakta, bu aşamalarda borulardan süte MP geçişi söz konusu olabilmektedir. Daha sonra süt, mikrobiyal yükü azaltmak ve büyük katı maddeleri süttten ayırmak için makrofiltrasyon, mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon gibi membran filtrasyon işlemlerine tabi tutulmaktadır (Kumar vd., 2013). Kullanılan membran filtrasyon ünitelerinin değiştirilmemesi, membranlara zarar veren yüksek basınç gibi faktörler ve filtrelerin ömrünü uzatmak için uygulanan kimyasal temizleme işlemleri nedeniyle polimerik membranların aşınması söz konusu olmakta ve bu durum membran yüzeyinde kopmalara neden olarak mikroplastik partiküllerini oluşturmaktadır. Oluşan bu partiküller işlem sırasında süte karışabilmektedir (Kumar vd., 2013; Pironti vd., 2021). İşleme sırasında kullanılan malzeme torbaları, önlükler, eldivenler, ekipmanlar, donanımlar ve süte eklenen su gibi yardımcı malzemelerin potansiyel MP kaynağı olabileceği vurgulanmaktadır. Ayrıca, süt endüstrisinde plastik bazlı ambalaj malzemelerinin yaygın olarak kullanılması da geçiş miktarının artmasına neden olabilir (Kutralam-Muniasamy vd., 2020). İçme sütü ve süt ürünlerinin endüstriyel üretimde olası mikroplastik kontaminasyonu genel olarak üretim ortamından gıdaya taşınma yolu ile olmaktadır. İşletme içindeki hava akımlarının atmosferik kontaminasyon kontrolünün kısıtlı olduğu durumlarda yüksek kontaminasyonun olduğu yerlerden gıdaya mikroplastikleri taşıdığı bildirilmiştir (Diaz-Basantes vd., 2020). Bu nedenle, üretim sürecindeki tüm faaliyetler süt ve süt ürünlerindeki olası mikroplastik varlığı açısından değerlendirilmelidir (Kutralam-Muniasamy vd., 2020).

Da Costa Filho vd., (2021), süt bazlı ürünlerde MP'leri doğru bir şekilde belirlemek ve karakterize etmek için mikro-Raman (μ Raman) teknolojisi kullanılarak enzimatik ve kimyasal sindirim adımlarını birleştiren yeni bir metodoloji geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu yöntem ile çiftlikte sağım makinesinden hemen alınan çiğ sütte ve

bazı işlenmiş ticari sıvı ve toz inek sütü ürünlerinde nispeten düşük miktarlarda küçük boyutlu MP ($\geq 5 \mu\text{m}$) varlığını ilk kez rapor etmişlerdir. Türkiye pazarında satılan çeşitli markalara ait 14 adet ambalajlı sütün MP varlığı açısından incelendiği bir çalışmada, beş farklı polimer (PET, PP, PU, etilen vinil asetat ve naylon-6) ortalama 6 ± 5 partikül/L olarak tespit edilmiştir. Tüm süt numunelerinin ortalama MP polimer risk indeksinin orta düzeyde riskli olduğu vurgulanmıştır. Süt ambalajlarında yaygın olarak polietilen polimeri kullanılmaktadır. Ancak analiz edilen süt numunelerinde PE tespit edilmemiştir. Bu nedenle süt numunelerinde bulunan mikroplastiklerin ambalajdan kaynaklanmadığı, muhtemelen üretim sürecindeki kirleticilerden kaynaklandığı belirtilmiştir (Basaran vd., 2023). Hindistan'da 13 adet süt örneğinde $<500 \mu\text{m}$ boyutunda %70.8 oranında PE, PP ve poliakrilamid (PAM) yapıda MP varlığı gösterilmiştir. MP'lerin toplam sayısının 164-427 MP/L aralığında değiştiği raporlanmıştır (Kiruba vd., 2022). Polietilen veya TetraPak ile ambalajlanmış ağırlıkça %1'den daha az miktarda yağ içeren 10 farklı süt örneğinde ise 16-53 MP/L aralığında PP, HDPE, LDPE ve PAM yapıda MP tespit edilmiştir (Diaz-Basantes vd., 2020). Katsara vd., (2021) ise, Edam, Kefalotyri ve Parmesan peynirlerinin $+4 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1 ay depolandığı bir çalışmada, depolama sonunda örneklerin yüzeyinde LDPE mikroplastiklerinin varlığını ATR-FTIR ve Raman spektroskopisi ile depolamanın 14. gününde tespit etmiş ve plastiklerin ambalajdan yüzeye göç ettiğini kanıtlamıştır. Bu nedenle peynir gibi LDPE ambalajda bulunan süt ürünlerinin buzdolabı sıcaklığında uzun süre depolanmadan tüketilmesi gerektiğini bildirmiştir. Zıpak vd., (2022) ise yoğurt üretim sürecindeki mikroplastik kontaminasyon kaynaklarını belirlemek için prosesin farklı basamaklarından örnekler alarak, örneklerdeki mikroplastik varlığını ve düzeyini incelemişlerdir. Yapay sindirim enzimi (multi enzim) kullanılarak gerçekleştirilen sindirim işlemi ile analiz edilen örneklerde özellikle yoğurt kovalarından yüksek kontaminasyon olduğu vurgulanmış ve 12 işlem basamağının toplam 171 mikroplastik parçacık (20-580 partikül/L) içerdiği tespit edilmiştir. Buyukunal vd., (2023) geleneksel

Türk ieeği olan ayranın MP içeriğini belirlemek için ayran yapımında kullanılan su, tuz, krema ve kiltür gibi girdileri incelemişlerdir. Çalışmada, su ve tuzlu su dışındaki örneklere önce enzimatik hidroliz uygulanmıştır. Daha sonra bütün örnekler 1 µm gözenek çapına sahip cam mikrofiber filtreler kullanılarak 0.5–0.6 bar basınç altında filtre edilmiştir. En yüksek MP miktarı tuzlu su (43 partikül/100 mL), tuz (33 partikül/100 g) ve homojenizasyon ve pastörizasyon aşamalarından alınan süt örneklerinde (26 partikül/100 mL) tespit edilmiştir. Son ürün ayranda ise 18 partikül/100 mL MP varlığı raporlanmıştır. Ayrıca tespit edilen MP'lerin çoğunun boyutlarının 1-150 µm arasında olduğu ve en çok tanımlanan polimerin etilen propilen olduğu belirtilmiştir. Marmara Bölgesi'nden toplanan 588 adet çiğ süt örneğinde MP varlığı araştırılmıştır. Örnekler enzimatik hidrolizin ardından 1 µm gözenek çapındaki membranlar ile 0.5 bar basınç altında filtrelenmiştir. İzole edilen MP'ler mikroskopik yolla tanımlanmış ve sayılmıştır. MP'lerin yüzey morfolojileri ve kimyasal bileşimleri ise SEM-EDS ve ATR-FTIR kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak örneklerin %89'nun MP içerdiği ve lifli parçacıkların daha yaygın (%52) olduğu gösterilmiştir. Örneklerde 7 farklı MP türü tanımlanmış ve başlıca türün etilen propilen (%72) olduğu ortaya konulmuştur (Rbaibi Zıpak vd., 2024). İtalya'da yapılan bir çalışmada, 34 farklı anne sütü örneği %10'luk KOH hidrolizinin ardından 1.6 µm gözenek çapına sahip filtrelerden süzölmüş ve Raman Mikrospektroskopisi ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak, 34 örnekten 26'sında boyutları 2-12 µm arasında değişen PE, PVC ve PP yapıda MP'lerin tespit edildiği raporlanmıştır (Ragusa vd., 2022). Yapılan farklı bir çalışmada, Çin pazarında bebek devam sütlerinin MP içeriği araştırılmıştır. Farklı ambalaj türlerini (karton ve teneke), işleme çeşitlerini (kuru karışım, ıslak karışım ve kombine işlem) ve süt kaynaklarını temsil eden 13 devam sütü incelemiştir. Araştırma sırası ile yapay mide öz suyu (5 pH, 37 °C 3 saat) ve pankreatik enzim (7-8 pH, 37°C 4 saat) kullanılarak iki aşamalı sindirim şeklinde gerçekleştirilmiştir. Karton kutulu süt tozlarının (7±3 MP/100 g) teneke kutulu süt tozlarına (4±3 MP/100 g) oranla daha yüksek miktarda MP içerdiği saptanmıştır. Karton

kutulu süt tozunun i ambalajının plastik ve alüminyum folyo ile lamine edilmiş olması nedeniyle ürüne MP geçişinin arttığı belirtilmiştir. Ek olarak örneklere süt tozu, biberonlar ve süt tozu preparatlarından kaynaklanan MP geçişi belirlenmiştir. Bebek beslenmesinde kullanılan biberonun süt tozundan 6.8 kat, süt tozu prepatından ise 1.7 kat daha yüksek MP geçişine sebep olduğu bildirilmiştir (Zhang vd., 2023).

Yapılan alışmalar incelendiğinde özellikle süt ve süt ürünlerinde boyutu 20 µm'den küçük olan MP'leri güvenilir bir şekilde ölçebilen doğruluğu yüksek analitik yöntemlerin bulunmaması nedeniyle verilerin kısıtlı olduğu görölmektedir (Da Costa Filho vd., 2021).

MİKROPLASTİKLERİN AYIRIM YÖNTEMLERİ

Her ne kadar MP'lerle maruz kalma konsantrasyonlarının düşük olacağı tahmin edilse de mikro ve nanoplastiklerin çevreye karışmasıyla ilgili veriler, bunları çevresel matrislerden çıkarmak, karakterize etmek ve ölçmek için gereken analitik ve teknik zorluklar nedeniyle hala sınırlıdır. Bir gıda matrisinde MP'leri analiz etme süreci temel olarak ayırma, kalitatif ve kantitatif analiz basamaklarını içerir (Liu vd., 2021). Kalitatif ve kantitatif analizlerde MP'lerin miktarlarının belirlenmesi ve tanımlanması işlemleri yer almaktadır. Özellikle mikroplastiklerin tanımlanması için en yaygın kullanılan yaklaşım, olası plastiklerin görsel olarak tanımlanmasından (stereomikroskop, SEM, SEM-EDS) sonra, spektroskopik (µ-Raman, µ-FTIR, FPA FTIR, µ ATR FTIR, NIR) ve termoanalitik (Py-GCMS, LV Py-GCMS, TED-GCMS, DSC) ve/veya kimyasal (ICP-MS) analizlerin birleşik kullanımını içeren polimerik bileşimin kimyasal analizini içermektedir (Sturm vd., 2021). 2015-2017 yılları arasında yapılan çalışmaların %79'unda mikroplastiklerin saptanması, tanımlanması, boyutlandırılması ve miktarının belirlenmesi amacıyla görselleştirme yöntemlerinin birinin veya birkaçının sıklıkla kullanıldığı ve başarılı sonuçlar alındığı bildirilmiştir (Sturm vd., 2021). Fakat bu yöntemlerin başarısı örnekteki mikroplastığın

ayrılması için uygulanan yöntemin doğru seçilip seçilmediği ile yakından ilişkilidir.

Sıvı gıdalardan (örneğin, suda çözülmüş deniz tuzlarındaki mikroplastikler) mikroplastikleri ayırmak için yalnızca birkaç basit adım gerekmesine rağmen, bazı gıda matrislerinin zengin organik içeriği ve sentetik plastik parçacıklardan ayrılması zor olan doğal polimerik yapıları, MP'lerin ayrılmasında zorluk çıkarmaktadır (Kwon vd., 2020). Birçok plastiğin hidrofobik doğası nedeniyle, gıda ve çevresel numunelerdeki organik maddeler, biyofilmler oluşturarak plastiğin yüzeyinde toplanır. Bu nedenle, MP'lerin spektroskopik olarak karakterizasyonlarının başarılı olabilmesi için ayırma yöntemleri ile ilk olarak mikroplastığın çevresini saran organik matrisin etkin bir şekilde

uzaklaştırılması gerekmektedir (Qiu vd., 2016; Enders vd., 2017). Bu açıdan, ayırma yöntemleri temel olarak gıda matrisinden mikroplastığın serbest kalması için uygulanan işlemler olup farklı tekniklerle gerçekleştirilmektedir (Sridhar vd., 2022; Kadac-Czapska vd., 2023). Ayrıca her polimerin farklı bir bileşimi vardır ve analizden önce herhangi bir MP fraksiyonunun yok edilmesini önlemek için bir sindirim yöntemi seçerken bu dikkate alınmalıdır (Debraj ve Lavanya, 2023). Gıdalarda bulunan MP'ler, fiziksel, kimyasal, enzimatik ve ekstraksiyon uygulamaları olmak üzere dört farklı şekilde matristen uzaklaştırılmaktadır. İşlemler tek başına kullanılabildiği gibi birkaç tanesi birlikte de kullanılabilmektedir. Şekil 1'de MP'in ekstraksiyonunda yaygın olarak kullanılan ayırma teknikleri verilmiştir.



Şekil 1. Mikroplastik ayırma teknikleri (Prata vd., 2021; Sridhar vd., 2022)

MP'lerin gıda matrisinden ayrılması için kullanılan fiziksel uygulamalarda yüzdürme ve membran filtrasyon yöntemleri yer almaktadır. Yüzdürme yönteminde ayırma etkisi; parçacıkların yalnızca yoğunluk farklılıklarıyla ayrıldığı durgun bir sıvıyla, parçacıkların yoğunluk ve hava kabarcıklarıyla ayrıldığı köpüklü yüzdürmeyle ve parçacık ayırımının hidrodinamik bir akış tarafından desteklendiği hidrodinamik yüzdürme yoluyla yapılmaktadır (Wang vd., 2018). Yüzdürme yönteminde ayırmayı kolaylaştırmak

için damıtılmış su, doymuş NaCl, konsantre ZnCl₂ ve konsantre NaI gibi farklı çözelti türleri kullanılmaktadır. ZnCl₂ ve NaI gibi kimyasalların etkili yüzdürmeyi sağlayacak miktardaki büyük hacimleri pahalı olduğundan ve çevre açısından güvenli olmamaları nedeniyle kullanımları sınırlıdır. NaCl, ucuz olması, toksik olmaması, kolay bulunması ve çevre dostu olması gibi avantajları nedeniyle daha yaygın olarak tercih edilmektedir (Duong vd., 2022).

Membran filtrasyonda basınç farkı itici gücüyle içecekler gibi düşük gıda matrisi içeriğine sahip numuneler, diğer analitik prosedürler kullanılmadan filtrelemeye tabi tutulabilir. Fiberglas, selüloz nitrat, selüloz asetat (CA) ve alüminyum oksitten yapılmış membran filtreler kullanılarak gerçekleştirilir. Fiberglas membranlar, filtreleme sırasında kolay parçalandıkları için kontaminasyona neden olabilir. Bu nedenle, selüloz nitrat, CA ve alüminyum oksit membranlar parçalanma eğilimleri daha az olduğu için MP'lerin ayırımında daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu membranların gözenek çapları farklı boyutlarda seçilerek, MP'lerin farklı boyut aralıklarında sınıflandırılması sağlanmaktadır (Kadac-Czapska vd., 2023). Son yıllarda vakum pompası ve farklı gözenek çapına sahip çeşitli membranlar kullanılarak soğuk çay, bira ve enerji içeceği (Shruti vd., 2020), alkollü (Prata vd., 2020) ve alkolsüz (Diaz-Basantes vd., 2020) içecekler gibi gıdalarda bulunan MP'ler, başarılı bir şekilde örnekten ayrılmıştır. Fiziksel ayırma uygulamalarının avantajları olmasına rağmen, MP'lerin numunenin biyolojik dokularına gömüldüğü durumlarda fiziksel yöntemlerle ayırlamaması ihtimali vardır. Bu nedenle plastik partikülün kimyasal veya yapısal bütünlüğünü değiştirmeden organik maddeyi parçalama yeteneğine sahip basit ve hızlı sindirim yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Tirkey ve Upadhyaya, 2021).

MP'lerin tespitinde kullanılan sindirim yöntemleri, asit, alkali, oksidasyon ve enzimatik yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Asit sindiriminde organik maddeyi parçalamak için yaygın olarak HCl ve HNO₃ gibi kimyasallar kullanılmaktadır. Asit sindiriminde gıda matrisinin etkili bir şekilde parçalanması için genellikle yüksek sıcaklık ve yüksek konsantrasyonlarda kimyasal uygulaması gerekir. Bu durum gıdalarda bulunan bazı polimerlerin (örneğin naylon ve PET) yapısının bozulmasına ve örneklerde MP'lerin olduğundan daha az tahmin edilmesine yol açabilir. Yapılan çalışmalar sonucunda nitrik asitin balık numunelerinde hızlı ve etkili bir sindirim aracı olduğu (Naidoo vd., 2017) fakat yüksek sıcaklıklarda uygulandığında MP partiküllerinin fiziksel özelliklerinde (sararma ve çatlama)

değişikliğe neden olduğu bildirilmiştir (Gulizia vd., 2022). Benzer olarak Karami vd., (2017) balıklarda %37'lik HCl ile 25 °C'de uygulanan sindirim sonucunda %95'den daha fazla sindirim verimliliği elde etmelerine rağmen, kimyasalın PET parçalarını erittiğini ve bazı parçacıkların bir araya toplandığını raporlamışlardır. Bu nedenle, biyolojik materyalin makul bir süre içinde etkili bir şekilde uzaklaştırılması ve tespit edilecek MP'lerin zarar görmesinin engellenmesi için örneğe özgü kimyasal, optimum konsantrasyon ve sıcaklık kullanılarak maksimum sindirim verimliliğinin sağlanacağı asit sindirim yönteminin geliştirilmesi gereklidir.

Alkali sindiriminde genel olarak NaOH ve KOH gibi kimyasallar kullanılır. Balıklarda MP ayırımı için farklı kimyasalların karşılaştırıldığı bir çalışmada, plastik polimerlerin sindirimi için 40 °C'de 48 saat %10 KOH uygulamasının en yüksek performans gösterdiği ve KOH ile geliştirilen yöntemin plastik varlığı üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi olmadığı gözlemlenmiş hem maliyet hem de zaman açısından verimli olduğu ortaya konulmuştur (Karami vd., 2017). Deniz ürünleri için yapılan benzer bir çalışmada, %10 KOH ile 60 °C'de 24 saat yapılan alkali sindiriminin diğer uygulamalara göre daha etkili olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada 10 M NaOH ile yapılan sindirimde ise CA, PC ve PET üzerindeki olumsuz etkisi nedeniyle uygulamanın kullanımının sınırlandırıldığı belirtilmektedir (Dehaut vd., 2016).

Kimyasal sindirim ile ilgili yapılan çalışmalarda asit ve alkali kimyasalların yanında hidrojen peroksit (H₂O₂) gibi reaktiflerin etkisi de test edilmiştir. H₂O₂ organik maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılan iyi bilinen ve etkili bir oksitleyicidir. Oksitleme yeteneği yöntemde kullanılan sıcaklık, süre ve konsantrasyondan etkilenmektedir. H₂O₂'nin (9.8 M) PS üzerindeki etkileri 30, 60, 90 °C'de 12, 24 ve 48 saat süre ile denenmiştir. Sonuç olarak polimer maddenin ¹H-NMR spektrumlarında ve fotolüminesans spektroskopisi (PL) yoğunluklarında fark gözlemlenmediği ve 60 °C ve daha düşük sıcaklıklar kullanıldığında H₂O₂'nin MP'ler üzerinde fiziksel ve kimyasal tahribata neden

olmadığı raporlanmıştır (Gulizia vd., 2022). Deniz çöktürlerindeki MP'lerin ayırımında %35 H₂O₂ kullanımında 7 gün sonunda biyolojik materyalin %92 oranında parçalandığı ve PE, PP, PVC, PET, PS ve PU polimerlerinin %91-99 oranında geri kazanıldığı bildirilmiştir (Nuelle vd., 2014). Liebezeit ve Liebezeit (2013), bal ve şeker numunelerinde %30 H₂O₂'lik çözeltiyi sırasıyla 72 ve 24 saat uygulayarak mikro partikülleri başarılı bir şekilde tespit etmişlerdir.

Literatürde incelenen çalışmalarda ön işlem olarak asit, alkali ve H₂O₂ kullanımlarının karşılaştırıldığı birçok çalışmaya rastlanmıştır. Örneğin, Nuelle vd., (2014) hayvan veya bitki materyallerinden biyojenik maddenin parçalanması için H₂O₂ (%30 ve %35), NaOH (%10, %20, %30, %40 ve %50) ve HCl (%20) kullanmış ve en verimli parçalanmanın H₂O₂'nin kullanıldığı durumda gerçekleştiğini bildirmiştir. Claessens vd., (2013) midyelerde MP tespiti için HNO₃ (22.5 M), NaOH (52.5 M) ve H₂O₂ (%30) kullanıldığında, HNO₃'nin kullanımının diğer iki kimyasalın kullanılmasından daha iyi sonuç verdiğini raporlamışlardır.

Enzimatik sindirim, selüloz, lipaz, proteaz, kitinaz ve proteinaz-K gibi spesifik enzimlerin kullanıldığı, çevre dostu bir uygulama olup gıda matrisindeki organik maddeyi parçalamak için kimyasal uygulamalara alternatif bir yöntemdir. MP'lere zarar verme oranı düşük olduğu için kullanımı yaygındır. Enzimin etkinliğinin numunedeki organik maddenin türüne göre değişmesi, yöntemin zaman alıcı olması ve enzimin optimum pH ve sıcaklık koşulunda çalışması yöntemde enzim ile birlikte farklı kimyasal ya da ajanların kullanılmasını gerektirmektedir (Tirkey ve Upadhya, 2021). Plankton örnekleri ve proteinaz K enzimi ile 50 °C'de 2 saat boyunca sodyum perklorat (NaClO₄) varlığında MP'lerin izolasyonu için yapılan sindirim ile %97'den daha fazla sindirim verimliliği elde edildiği raporlanmıştır (Cole vd., 2014). Balık dokularının sindirilmesi için proteinaz K (500 mg/mL) enziminin kullanıldığı bir yöntemde sırasıyla CaCl₂ ekleme, 50 °C'de 2 saat inkübasyon, 20 dakika oda sıcaklığında çalkalama, 60 °C'de 20 dakika inkübasyon, kalan

kitinin parçalanması için oda sıcaklığında 24 saat H₂O₂ (%30) ile muamele basamakları uygulanmıştır. Sonuç olarak, numunelerde 7 adet PE, 4 adet alkid reçinesi, 1 adet PS ve 1 adet PMMA içeren 13 adet MP tanımlanmıştır (Karlsson vd., 2017).

Süt ve süt ürünlerinde yapılan çalışmalarda örneklerin yapısal farklılıklarına bağlı olarak çeşitli ayırma yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir. Basaran vd., (2023) süt örneklerinde MP'lerin ayırımında filtreleme yönteminin tek başına kullanılabileceğini göstermiştir. Diğer araştırmacılar ise filtreleme aşamasından önce alkali (Ragusa vd., 2020), enzimatik (Buyukunal vd., 2023; Zhang vd., 2023; Rbaibi Zıpak vd. 2024), kimyasal ve enzimatik (Da Costa Filho vd., 2021; Zıpak vd., 2022) ve hidrojen peroksit (Diaz-Basantes vd., 2020) içeren sindirim yöntemlerini kullanmışlardır.

MP'lerin gıda matrisinden ayrılması için ultrason, manyetik ve katı faz mikro ekstraksiyon teknikleri de uygulanmaktadır (Sridhar vd., 2022). Diaz-Basantes vd., (2020) bal, bira, süt ve alkolsüz içecek örneklerinde, örnekleri parçalamak amacıyla %30'luk H₂O₂ uygulaması ile birlikte 1 saat ultrason uygulaması yapmışlardır. Grbic vd., (2019) çevre ve içme suyu örneklerinde MP'lerin tespiti için heksadesiltrimetoksilan ile modifiye edilmiş hidrofobik demir nanopartikülleri ile yaratılan manyetik ayırımının kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada, hidrofobik etkileşim nedeni ile MP'lerin yüzeylerine hidrofobik demir nanopartikülleri bağlanarak MP'lerin numuneden manyetik olarak ayrılması sağlanmıştır. PE ve PS polimerleri için bağlı demir partiküllerinin, 10-20 µm partikül boyutlarındaki MP'leri çeken plastikleri manyetize ederek %92'lik bir geri kazanım sağladığı bildirilmiştir. Ekstraksiyon yöntemleri ayrı ayrı incelendiğinde farklı avantaj ve dezavantajlara sahip oldukları görülmektedir. Özellikle bu yöntemlerin gıda matrisinde organik maddelerin parçalanması açısından değerlendirilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

SONUÇ

Yapılan çalışmalar MP'lerin insanların endokrin sisteminde, dolaşım sisteminde ve farklı organlarında bulunduğunu göstermiştir. İnsanların mikroplastik parçacıklara maruz kalması insan sağlığı için bir risk faktörü oluşturmaktadır ve bu konudaki endişeler günden güne artmaktadır. İnsanlara MP'lerin en önemli kontaminasyon yolu kontamine gıdaların tüketilmesidir. Kontamine su, toprak ve hava gibi faktörler ve gıda işleme sırasında kullanılan ekipman, malzeme, gıda bileşenleri ve katkı maddeleri gıdalara MP'lerin taşınmasında rol oynamaktadır. Plastik ambalaj malzemeleri ve tek kullanımlık plastik kapların kullanımının artması MP'lerin gıdalarda bulunma olasılığını ve miktarını arttırmaktadır. Süt ve süt ürünlerinde de temel olarak ambalaj ve üretim süresince kullanılan malzemelerden MP geçişi kanıtlanmıştır. Ürüne ve analiz yöntemine özgü olarak tespit edilen MP'lerin türü, boyutu ve miktarı değişkenlik göstermektedir. Gıdalarda MP'lerin saptanmasında ayırma, kalitatif ve kantitatif analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Organik madde içeriği fazla olan örneklerde organik materyalin MP yüzeyinden etkili bir şekilde ayrılması için kullanılan sindirim aşaması kalitatif ve kantitatif tanımlama analizlerinin başarısını etkilediği için çok önemli bir basamaktır. Kimyasal sindirimde kullanılan asit, alkali ve oksidatif maddeler tespit edilecek MP türüne ve gıda örneğine göre değişkenlik göstermektedir. Analiz yönteminin uygulanmasında süre, kimyasal konsantrasyonu ve kimyasalların birlikte kullanılması MP'ler üzerinde farklı etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle MP'lerin zarar görmeden ve miktarlarında azalma olmadan tespitine yönelik ürüne özgü spesifik sindirim yöntemlerinin geliştirilmesi, gıdalarda MP'lerin etkin bir şekilde belirlenmesinde elzem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmaların artırılması endüstrideki kontaminasyon kaynaklarının daha iyi tespit edilerek giderilmesi için önlemlerin alınması konusunda önemlidir. Ek olarak, geliştirilen bu yöntemler ile süt ve süt ürünlerinin MP'ler açısından güvenliğinin sağlanması için yasal olarak limitlerin belirlenmesi ve izleme yöntemlerinin geliştirilmesi konularında gerekli düzenlemelerin

kamu otoritesi tarafından yapılması insan sağlığının korunması açısından fayda sağlayacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

YAZARLARIN KATKISI

Makalenin derlenmesinde, yazılmasında ve yayınlanmasında tüm yazarlar katkı sağlamışlardır. Yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

KAYNAKLAR

- Afrin, S., Rahman, M. M., Hossain, M. N., Uddin, M. K., Malafaia, G. (2022). Are there plastic particles in my sugar? A pioneering study on the characterization of microplastics in commercial sugars and risk assessment. *Science of The Total Environment*, 837, 155849.
- Al Mamun, A., Prasetya, T. A. E., Dewi, I. R., Ahmad, M. (2023). Microplastics in human food chains: Food becoming a threat to health safety. *Science of The Total Environment*, 858, 159834.
- Alimba, C. G., Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 68, 61-74.
- Altunışık, A. (2023). Prevalence of microplastics in commercially sold soft drinks and human risk assessment. *Journal of Environmental Management*, 336, 117720.
- Ashrafy, A., Liza, A. A., Islam, M. N., Billah, M. M., Arafat, S. T., Rahman, M. M., Rahman, S. M. (2022). Microplastics Pollution: A Brief Review of Its Source and Abundance in Different Aquatic Ecosystems. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 100215.
- Barboza, L. G. A., Vethaak, A. D., Lavorante, B. R., Lundebye, A. K., Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 336-348.

- Basaran, B., Özçifçi, Z., Akçay, H. T., Aytan, Ü. (2023). Microplastics in branded milk: Dietary exposure and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 123, 105611.
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C., Peters, R. J. (2015). Potential health impact of environmentally released micro-and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology. *Environmental Science & Technology*, 49(15), 8932-8947.
- Brachner, A., Fragouli, D., Duarte, I. F., Farias, P. M., Dembski, S., Ghosh, M., ... Neuhaus, W. (2020). Assessment of human health risks posed by nano-and microplastics is currently not feasible. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 8832.
- Buyukunal, S. K., Rbaibi Zipak, S., Muratoglu, K. (2023). Microplastics in a Traditional Turkish Dairy Product: Ayrân. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 73(2), 139-150.
- Cáceres-Farias, L., Espinoza-Vera, M. M., Orós, J., García-Bereguain, M. A., Alfaro-Núñez, A. (2023). Macro and microplastic intake in seafood varies by the marine organism's feeding behaviour: Is it a concern to human health?. *Heliyon*, 9(5).
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J. H., ... Suh, S. (2020). Degradation rates of plastics in the environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(9), 3494-3511.
- Claessens, M., Van Cauwenberghe, L., Vandegehuchte, M. B., Janssen, C. R. (2013). New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 70(1-2), 227-233.
- Cole, M., Webb, H., Lindeque, P. K., Fileman, E. S., Halsband, C., Galloway, T. S. (2014). Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. *Scientific Reports*, 4(1), 4528.
- Colombo, C. V., Fernández-Severini, M. D., Forero-López, A. D., Arduoso, M. G., Rimondino, G. N., Malanca, F. E., Buzzi, N. S. (2023). Microplastics in commercial seafood: *Pleoticus muelleri* as a case study in an estuarine environment highly affected by human pressure (Southwestern Atlantic). *Environmental Research*, 216, 114738.
- 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 Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M. E., ... Poitevin, E. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu\text{m}$) in milk products. *Scientific Reports*, 11(1), 1-13.
- Debraj, D., Lavanya, M. (2023). Microplastics everywhere: A review on existing methods of extraction. *Science of the Total Environment*, 164878.
- Dehaut, A., Cassone, A. L., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., ... Paul-Pont, I. (2016). Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution*, 215, 223-233.
- Di Fiore, C., Sammartino, M. P., Giannattasio, C., Avino, P., Visco, G. (2023). Microplastic contamination in commercial salt: An issue for their sampling and quantification. *Food Chemistry*, 404, 134682.
- Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A., Fullana, A. (2020). Microplastics in honey, beer, milk and refreshments in Ecuador as emerging contaminants. *Sustainability*, 12(14), 5514.
- Du, F., Cai, H., Zhang, Q., Chen, Q., Shi, H. (2020). Microplastics in take-out food containers. *Journal of Hazardous Materials*, 399, 122969.
- Duong, T. T., Le, P. T., Nguyen, T. N. H., Hoang, T. Q., Ngo, H. M., Doan, T. O., ... Strady, E. (2022). Selection of a density separation solution to study microplastics in tropical riverine sediment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 1-17.
- Ebere, E. C., Wirnkör, V. A., Ngozi, V. E. (2019). Uptake of microplastics by plant: a reason to worry or to be happy?. *World Scientific News*, (131), 256-267.

- Edo, C., Fernández-Alba, A. R., Vejsnæs, F., van der Steen, J. J., Fernández-Piñas, F., Rosal, R. (2021). Honeybees as active samplers for microplastics. *Science of the Total Environment*, 767, 144481.
- Emenike, E. C., Okorie, C. J., Ojeyemi, T., Egbemhenghe, A., Iwuozor, K. O., Saliu, O. D., ... Adeniyi, A. G. (2023). From oceans to dinner plates: The impact of microplastics on human health. *Helijon*, 9(10).
- Enders, K., Lenz, R., Beer, S., Stedmon, C. A. (2017). Extraction of microplastic from biota: recommended acidic digestion destroys common plastic polymers. *ICES Journal of Marine Science*, 74(1), 326-331.
- Filgueiras, A. V., Preciado, I., Cartón, A., Gago, J. (2020). Microplastic ingestion by pelagic and benthic fish and diet composition: A case study in the NW Iberian shelf. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111623.
- Fotopoulou, K. N., Karapanagioti, H. K. (2019). Degradation of various plastics in the environment. *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment*, 71-92.
- Frias, J. P., Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145-147.
- Grbic, J., Nguyen, B., Guo, E., You, J. B., Sinton, D., Rochman, C. M. (2019). Magnetic extraction of microplastics from environmental samples. *Environmental Science & Technology Letters*, 6(2), 68-72.
- Gulizia, A. M., Brodie, E., Daumuller, R., Bloom, S. B., Corbett, T., Santana, M. M., ... Vamvounis, G. (2022). Evaluating the effect of chemical digestion treatments on polystyrene microplastics: recommended updates to chemical digestion protocols. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 223(13), 2100485.
- Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C., Tahara, R., Maisuria, V. B., Tufenkji, N. (2019). Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12300-12310.
- Huang, Y., Liu, Q., Jia, W., Yan, C., Wang, J. (2020). Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment. *Environmental Pollution*, 260, 114096.
- Huang, S., Huang, X., Bi, R., Guo, Q., Yu, X., Zeng, Q., ... Guo, P. (2022). Detection and analysis of microplastics in human sputum. *Environmental Science & Technology*, 56(4), 2476-2486.
- Iñiguez, M. E., Conesa, J. A., Fullana, A. (2017). Microplastics in Spanish table salt. *Scientific Reports*, 7(1), 8620.
- 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.
- Joseph, A., Parveen, N., Ranjan, V. P., Goel, S. (2023). Drinking hot beverages from paper cups: Lifetime intake of microplastics. *Chemosphere*, 317, 137844.
- Kadac-Czapska, K., Trzebiatowska, P. J., Knez, E., Zaleska-Medynska, A., Grembecka, M. (2023). Microplastics in food—a critical approach to definition, sample preparation, and characterisation. *Food Chemistry*, 135985.
- Kandeyaya, K. B. K. D. K., Ranatunga, S., Ranatunga, R. R. M. K. P. (2023). Occurrence of microplastics in some commercially important seafood varieties from Negombo, Sri Lanka. *Regional Studies in Marine Science*, 62, 102958.
- Kannan, K., Vimalkumar, K. (2021). A review of human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 724989.
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Romano, N., Ho, Y. B., Salamatinia, B. (2017). A high-performance protocol for extraction of microplastics in fish. *Science of the Total Environment*, 578, 485-494.
- Karlsson, T. M., Vethaak, A. D., Almroth, B. C., Ariese, F., van Velzen, M., Hassellöv, M., Leslie, H. A. (2017). Screening for microplastics in

- sediment, water, marine invertebrates and fish: method development and microplastic accumulation. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1-2), 403-408.
- Katsara, K., Kenanakis, G., Viskadourakis, Z., Papadakis, V. M. (2021). Polyethylene migration from food packaging on cheese detected by Raman and Infrared (ATR/FT-IR) Spectroscopy. *Materials*, 14(14), 3872.
- Kiruba, R., Preethi, M., Aganasteen, R., Rithick Raj, M., Hannah Thabitha, C., Monica, P., ... Naseera Banu, I. (2022). Identification of Microplastics as Emerging Contaminant in Branded Milk of Tamil Nadu State, India. *Asian Journal of Biological and Life Sciences*, 11(1), 181.
- Klein, S., Dimzon, I. K., Eubeler, J., Knepper, T. P. (2018). Analysis, occurrence, and degradation of microplastics in the aqueous environment. *Freshwater Microplastics: Emerging Environmental Contaminants?*. 51-67.
- Kosuth, M., Mason, S. A., Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS one*, 13(4), e0194970.
- Kumar, P., Sharma, N., Ranjan, R., Kumar, S., Bhat, Z. F., Jeong, D. K. (2013). Perspective of membrane technology in dairy industry: A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(9), 1347.
- Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., Shruti, V. C. (2020). Review of current trends, advances and analytical challenges for microplastics contamination in Latin America. *Environmental Pollution*, 267, 115463.
- Kwon, J. H., Kim, J. W., Pham, T. D., Tarafdar, A., Hong, S., Chun, S. H., ... Jung, J. (2020). Microplastics in food: a review on analytical methods and challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6710.
- Lebreton, L., Andrady, A. (2019). Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications*, 5(1), 1-11.
- Leslie, H. A., Van Velzen, M. J., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107199.
- Li, T., Shi, J., Liu, X., He, M., Wang, J., Yan, X., Fan, Y. (2023). Analysis of the effect of salt processing on microplastic residues in crushed and washed sea salt. *Journal of Sea Research*, 102405.
- Liebezeit, G., Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 30(12), 2136-2140.
- Liu, Q., Chen, Z., Chen, Y., Yang, F., Yao, W., Xie, Y. (2021). Microplastics and nanoplastics: emerging contaminants in food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(36), 10450-10468.
- Liu, Q., Chen, Z., Chen, Y., Yang, F., Yao, W., Xie, Y. (2022). Microplastics contamination in eggs: Detection, occurrence and status. *Food Chemistry*, 397, 133771.
- Makhdoumi, P., Pirsahab, M., Amin, A. A., Kianpour, S., Hossini, H. (2023). Microplastic pollution in table salt and sugar: Occurrence, qualification and quantification and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 119, 105261.
- Makhdoumi, P., Amin, A. A., Karimi, H., Pirsahab, M., Kim, H., Hossini, H. (2021). Occurrence of microplastic particles in the most popular Iranian bottled mineral water brands and an assessment of human exposure. *Journal of Water Process Engineering*, 39, 101708.
- Naidoo, T., Goordiyal, K., Glassom, D. (2017). Are nitric acid (HNO₃) digestions efficient in isolating microplastics from juvenile fish?. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228, 1-11.
- Nakat, Z., Dgheim, N., Ballout, J., Bou-Mitri, C. (2023). Occurrence and exposure to microplastics in salt for human consumption, present on the Lebanese market. *Food Control*, 145, 109414.
- Nuelle, M. T., Dekiff, J. H., Remy, D., Fries, E. (2014). A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments. *Environmental Pollution*, 184, 161-169.

- Ogunola, S. O., Reis-Santos, P., Wootton, N., Gillanders, B. M. (2022). Microplastics in decapod crustaceans sourced from Australian seafood markets. *Marine Pollution Bulletin*, 179, 113706.
- Özçifçi, Z., Basaran, B., Akçay, H. T. (2023). Microplastic contamination and risk assessment in table salts: Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 175, 113698.
- Pan, Z., Liu, Q., Xu, J., Li, W., Lin, H. (2022). Microplastic contamination in seafood from Dongshan Bay in southeastern China and its health risk implication for human consumption. *Environmental Pollution*, 303, 119163.
- Pironti, C., Ricciardi, M., Motta, O., Miele, Y., Proto, A., Montano, L. (2021). Microplastics in the environment: intake through the food web, human exposure and toxicological effects. *Toxics*, 9(9), 224.
- 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.
- Plastics Europe, EPRO, Plastics - the Facts, (2022). An analysis of European plastics production, demand and waste data 34. <<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>>.
- Prata, Joana C., Paço, A., Reis, V., da Costa, J.P., Fernandes, A.J.S., da Costa, F.M., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T., (2020). Identification of microplastics in white wines capped with polyethylene stoppers using micro-Raman spectroscopy. *Food Chemistry*, 331, 127–323.
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Andrady, A. L., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T. (2021). A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health. *Science of the Total Environment*, 777, 146094.
- Qiu, Q., Tan, Z., Wang, J., Peng, J., Li, M., Zhan, Z. (2016). Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 176, 102-109.
- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., ... Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274.
- Ragusa, A., Notarstefano, V., Svelato, A., Belloni, A., Gioacchini, G., Blondeel, C., ... Giorgini, E. (2022). Raman microspectroscopy detection and characterisation of microplastics in human breastmilk. *Polymers*, 14(13), 2700.
- Rbaibi Zipak, S., Muratoglu, K., Buyukunal, S. K. (2024). Microplastics in raw milk samples from the Marmara region in Turkey. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 1-12.
- Sangkham, S., Faikhaw, O., Munkong, N., Sakunkoo, P., Arunlertaree, C., Chavali, M., ... Tiwari, A. (2022). A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies, and potential effects on human health. *Marine Pollution Bulletin*, 181, 113832.
- Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., Liebmann, B. (2019). Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Annals of Internal Medicine*, 171(7), 453-457.
- Sewwandi, M., Wijesekara, H., Rajapaksha, A. U., Soysa, S., Vithanage, M. (2023). Microplastics and plastics-associated contaminants in food and beverages; Global trends, concentrations, and human exposure. *Environmental Pollution*, 317, 120747.
- Sharifi, H., Movahedian Attar, H. (2021). Quantitative and qualitative evaluation of microplastics in different salts from Iran. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 2021(September), 1-6.
- Sharma, S., Chatterjee, S. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 21530-21547.
- Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., Kutralam-Muniasamy, G. (2020). First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy

- drinks-Future research and environmental considerations. *Science of the Total Environment*, 726, 138580.
- Silva, A. L. P., Prata, J. C., Walker, T. R., Campos, D., Duarte, A. C., Soares, A. M., ... Rocha-Santos, T. (2020). Rethinking and optimising plastic waste management under COVID-19 pandemic: policy solutions based on redesign and reduction of single-use plastics and personal protective equipment. *Science of the Total Environment*, 742, 140565.
- Sivagami, M., Selvambigai, M., Devan, U., Velangani, A. A. J., Karmegam, N., Biruntha, M., ... Kumar, P. (2021). Extraction of microplastics from commonly used sea salts in India and their toxicological evaluation. *Chemosphere*, 263, 128181.
- Sridhar, A., Kannan, D., Kapoor, A., Prabhakar, S. (2022). Extraction and detection methods of microplastics in food and marine systems: a critical review. *Chemosphere*, 286, 131653.
- Sridharan, S., Kumar, M., Singh, L., Bolan, N. S., Saha, M. (2021). Microplastics as an emerging source of particulate air pollution: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126245.
- Sturm, M. T., Horn, H., Schuhen, K. (2021). The potential of fluorescent dyes—comparative study of Nile red and three derivatives for the detection of microplastics. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 413, 1059-1071.
- Taghipour, H., Ghayebzadeh, M., Mousavi, S. M. S., Sharifi, H., Payandeh, A. (2023). Incidence and exposure to microplastics in table salt present in the Iran market. *Toxicology Reports*, 11, 129-140.
- Tirkey, A., Upadhyay, L. S. B. (2021). Microplastics: An overview on separation, identification and characterization of microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 170, 112604.
- Unuofin, J. O., Igwaran, A. (2023). Microplastics in seafood: Implications for food security, safety, and human health. *Journal of Sea Research*, 194, 102410
- Vithanage, M., Ramanayaka, S., Hasinthara, S., Navaratne, A. (2021). Compost as a carrier for microplastics and plastic-bound toxic metals into agroecosystems. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 24, 100297.
- Wang, Z., Taylor, S. E., Sharma, P., Flury, M. (2018). Poor extraction efficiencies of polystyrene nano-and microplastics from biosolids and soil. *PLoS One*, 13(11), e0208009.
- Winkler, A., Santo, N., Ortenzi, M. A., Bolzoni, E., Bacchetta, R., Tremolada, P. (2019). Does mechanical stress cause microplastic release from plastic water bottles?. *Water Research*, 166, 115082.
- Wurm, F. R., Spierling, S., Endres, H. J., Barner, L. (2020). Plastics and the environment—current status and challenges in Germany and Australia. *Macromolecular Rapid Communications*, 41(18), 2000351.
- Xu, M., Halimu, G., Zhang, Q., Song, Y., Fu, X., Li, Y., ... Zhang, H. (2019). Internalization and toxicity: A preliminary study of effects of nanoplastic particles on human lung epithelial cell. *Science of the Total Environment*, 694, 133794.
- Yang, Y., Xie, E., Du, Z., Peng, Z., Han, Z., Li, L., ... Yang, X. (2023). Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Environmental Science & Technology*, 57(30), 10911-10918.
- Yaranal, N. A., Subbiah, S., Mohanty, K. (2021). Identification, extraction of microplastics from edible salts and its removal from contaminated seawater. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101253.
- 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.
- Yücel, N., & Kılıç, E. (2023). Presence of microplastic in the Patella caerulea from the northeastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 188, 114684.
- Zhang, Y., Lu, J., Wu, J., Wang, J., Luo, Y. (2020). Potential risks of microplastics combined with superbugs: Enrichment of antibiotic resistant bacteria on the surface of microplastics in mariculture system. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187, 109852.

Zhang, Q., Liu, L., Jiang, Y., Zhang, Y., Fan, Y., Rao, W., Qian, X. (2023). Microplastics in infant milk powder. *Environmental Pollution*, 323, 121225.

Zipak, S. R., Muratoglu, K., Buyukunal, S. K. (2022). Evaluation of Microplastic Presence in

Yogurt Production Process. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 28(5), 633-641.