





Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makale

Mikroplastikler, Çevre-İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri ve Analiz Yöntemleri

 Ertuğrul ESMERAY^{a*},  Cevat ARMUTCU^a

^a Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar e-posta: eesmeray@karabuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.586453

ÖZET

Plastikler, günlük yaşamımızda birçok alanda kullanılmaktadır. İnsanlar şimdiye kadar 9 milyar tonun üzerinde plastik üretmişlerdir. 2050 yılına kadar neredeyse 38 milyar ton plastik üretilecek ve bunun 13 milyar tonu atık olacaktır. Atık plastikler zamanla bozularak mikroplastikleri (ikincil mikroplastikleri)(İMP) oluşturacak, ayrıca kozmetik, ilaç gibi sektörlerde kullanılmak üzere kasıtlı üretilen mikroplastiklerde (birincil mikroplastikler)(BMP) çevreye salınmış olacaktır. Mikroplastiklerin okyanuslardaki dağılımı; 1 metreküpte 1 milyondan fazla parça bulunabileceği gibi 100 metreküpte 1 parçadan daha az da bulunabilmektedir. Çevre mikroplastik birikimine ve taşınımına katkıda bulunmakta, ayrıca mikroplastikler absorpsiyon nedeniyle ortamda bulunan mikro kirleticileri ve bazı ağır metalleri bünyesinde tutarak yayılmasına neden olmaktadır. Bu da mikroplastiklerin katlanarak tehlike oluşturduğu anlamına gelmektedir.

Mikroplastikler, hem suda yaşayan canlılar için hem de insanlar için büyük tehdit oluştururlar. Dolayısıyla okyanus, deniz gibi ortamlara atılan plastik atıklardan dolayı mikroplastik kaynaklı kirlilik günden güne artmaktadır. Günümüzde mikroplastiklerin çeşitli yollarla insan bünyesine alınmasının, insan sağlığı üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkiler hakkında bilgiler hala yeterli değildir. Bunun sonucu olarak, çevre ve insanın nasıl bir tehdit ile karşı karşıya kaldığının, tam olarak anlaşılabilmesi de mümkün değildir. Bu olumsuz veriler ışığında mikroplastiklerin insan ve çevre sağlığı üzerindeki risklerinin acil olarak araştırılmaya ihtiyacı vardır. Bu çalışmada, mikroplastiklerin, çevre-insan sağlığına olan potansiyel etkilerini ve analiz yöntemleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikroplastikler, İnsan ve Çevre Sağlığı, Analiz Yöntemleri

Microplastics, Environmental - Human Health Effects and Analysis Methods

ABSTRACT

Plastics are used in many areas in our daily lives. So far, humans have produced over 9 billion tons of plastics. By 2050, almost 38 billion tons of plastics will be produced, of which 13 billion tons will be waste. Waste plastics will decompose over time to form microplastics (secondary microplastics), and will also be released to the environment in intentionally produced microplastics (primary microplastics) for use in cosmetics and

pharmaceutical industries. The distribution of microplastics in the oceans can be found in more than 1 million parts per 1 cubic meter or less than 1 part per 100 cubic meter. The environment contributes to the accumulation and transport of microplastics, as well as the absorption of microplastics due to the absorption of micro-pollutants and some heavy metals in the environment causes the spread. This means that microplastics are exponentially dangerous.

Microplastics pose a big threat to both aquatic creatures and humans. Therefore, microplastic pollution is increasing from day to day due to plastic waste thrown into environments such as the ocean and the sea. Nowadays, information about the negative effects that microplastics can have on human health is still not sufficient. As a result, it is not possible to understand exactly what kind of threat the environment and man beings face. In light of these negative data, the risks of microplastics on human and environmental health need to be investigated urgently. In this study, the potential effects of microplastics on environmental - human health and analysis methods were studied.

Keywords: *Microplastics, Human and Environmental Health, Analysis Methods*

I. GİRİŞ

plastiklerin birçok kullanım alanı vardır. Bunlardan bazıları mutfak eşyası, plastik kutu, boru, oyuncak, kaplama, kabloların yalıtkan katmanları, ambalaj filmi imalatı, çanta, poşet ve torbalarının yapımında, plastik şişe yapımında, yiyecek ambalajlarında, otomobil çamurluklarında, kavanoz, plastik film, mikrodalga ambalajı, elyaf (fiber) ve tekstil ürünlerinde, diş fırçası kılı, misina, otomotiv yan sanayidir. Plastiklerin bu kadar çok kullanım alanına sahip olmasının nedeni hafif, esnek, kolay işlenebilir, korozyona karşı dayanıklı, elektrik ve ısı yalıtkanlığı yüksek, kullanımı kolay ve ekonomik olmasıdır [1]. Ayrıca plastikler dünya çapında en yaygın kullanılan tek kullanımlık malzemelerdir [2]. Plastik atıklar üretim esnasında oluşan atıklar ve tüketim esnasında oluşan atıklar olmak üzere iki şekilde incelenebilmektedir.

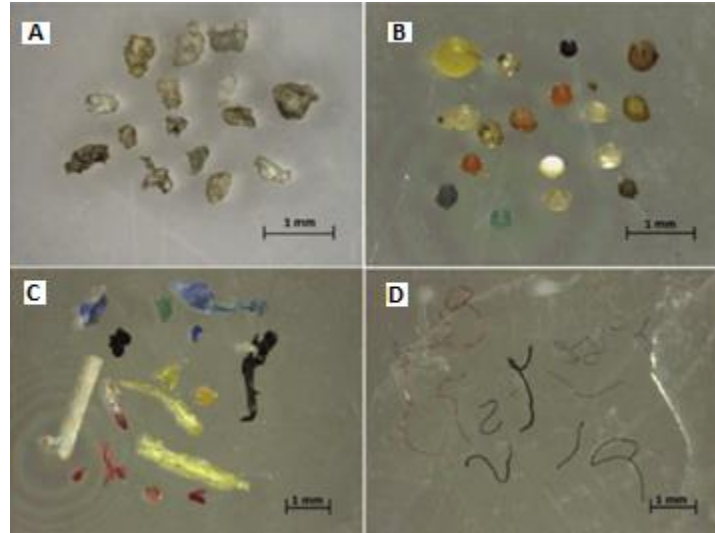
Fabrikalarda üretim esnasında oluşan plastik atıklar döküntüler, kırpıntılar, parçalardır. Tüketimden kaynaklanan plastik atıklar evsel, endüstriyel, ulaşım, tarımsal faaliyetler amacıyla kullanım sonrası oluşan atıklardır. Atık plastiklerin geri dönüşüm oranı oldukça düşüktür. Plastik üretimi yaklaşık yılda 330 milyon ton iken bunun yalnızca yüzde 10'u geri dönüştürülebilmektedir [1].

Plastikler, diğer işletmelerin yanı sıra, düşük üretim maliyetleri, çok yönlülükleri, hafiflikleri ve dayanıklılıkları nedeniyle, çeşitli endüstrilerde kapsamlı uygulamalara sahip toplum tarafından yaygın ve yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [3, 4]. Üretimleri, endüstriyel ve evsel kullanımları sırasında ve bu tür işlemlerden sonra, küresel olarak üretilen plastiklerin önemli bir kısmı çevreye salınmaktadır.

Aslında, plastikler çevresel kirlenmeye katkıda bulunan kentsel atıkların en hızlı büyüyen bölümlerinden birini temsil etmekte, plastik atıklar tüm deniz çöplerinin yaklaşık %60-80'ini oluşturmakta ve bazı bölgelerde bu oran %90-95'e ulaşmaktadır [5, 6, 4]. Mikroplastik, 5 mm'den daha küçük plastik parçacıklara verilen isimdir. Mikroplastikler denizel hayata ciddi zararlar verebilmektedir. BMP'ler, küçük parçalar ve pellet olarak üretilen ve bazı ilaçlarda ve kozmetik ürünlerde kullanılan, özellikle yüz ve vücut temizliğinde aşındırıcı ve deri yüzeyindeki ölü hücreleri sıyrıcı özelliği ile yaygın kullanılmaktadır. BMP örneklerine Şekil 1 (A-B)'de yer verilmiştir.

- Okyanuslardaki mikroplastik oranının %15-31 arasında olduğu tahmin edilmektedir.

- Parçalanma ile oluşan mikroplastiklere (İMP) olarak tanımlanmaktadır. Plastik torbalar, şişeler veya balık ağları gibi daha büyük plastik nesnelerin bozulmasından kaynaklanmaktadır.
- Deniz ortamındaki mikro plastiklerin %69~81'inin kaynağı, daha büyük plastiklerin bozulmasından kaynaklanan İMP'lerdir. İMP örneklerine Şekil 1(C-D)'de yer verilmiştir.



Şekil-1. A ve B: BMP'ler: Kişisel bakım ürünlerinden elde edilen mikro boncuklar.

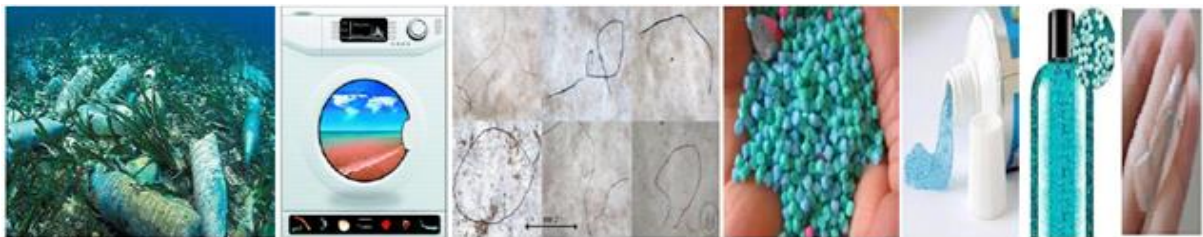
C ve D: İMP'ler: Daha büyük plastiklerin ve sentetik tekstil liflerinin parçalanmasından kaynaklanan parçalar.

[7]

II. MİKROPLASTİKLER'İN KAYNAKLARI, ÖZELLİKLERİ VE SINIFLANDIRILMASI

A. MİKROPLASTİK KAYNAKLARI

Mikroplastiklerin kaynağı olarak, şekil 2'de de gösterildiği gibi; çoğu sentetik tekstil lifleri, kozmetik, deterjan ve diş macunlarında bulunan mikro boncuklar, plastik fabrikalarının atıkları, otomobil lastiklerinden aşınıp kopan parçacıklar ve çevredeki plastiklerin çevrede zamanla küçük zerreciklere dönüşmesi sayılabilmektedir [1]. Bunlardan mikro boncuklar ve tekstil lifleri direkt kullanım neticesinde oluşan BMP'ler olarak düşünülebilirken; diğer plastik atıkları, lastik atıkları ve çevredeki plastiklerin parçalara ayrılması, belli parçalanma aşamalarından sonra oluştuğu için dolaylı kirletici veya İMP'ler olarak düşünülebilmektedir. Bu parçalara ayrılma işlemleri; antropojenik etkilerle ve/veya su, hava, rüzgâr, güneş (UV ışını) etkisi gibi doğal etkilerle gerçekleşebilmektedir.



Şekil-2 Mikroplastiklerin kaynakları [1]

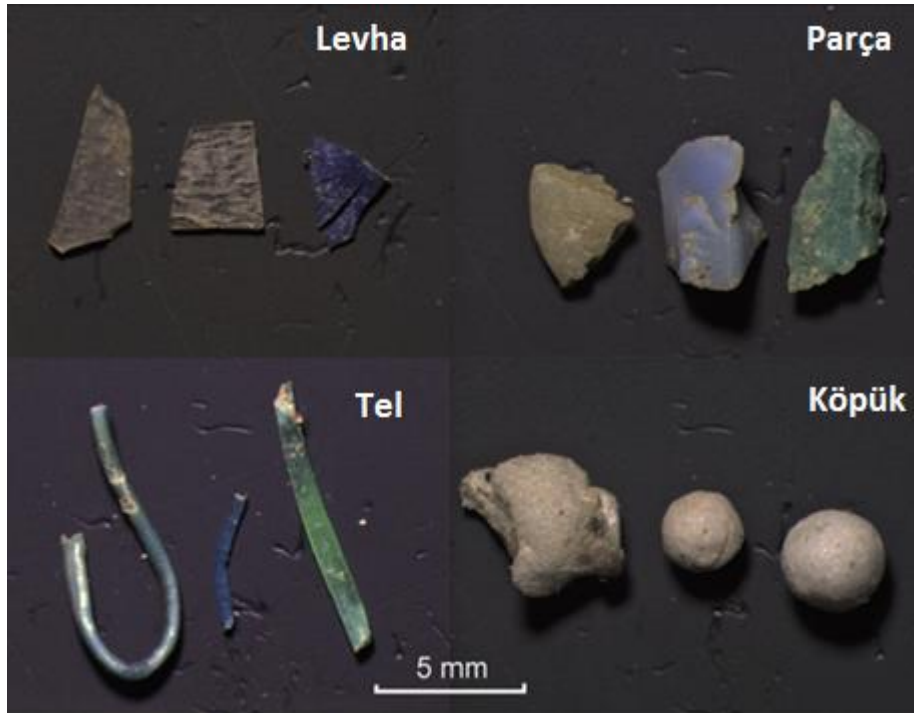
Havadaki mikro plastiklere çevresel maruz kalma, mikro plastik kaynaklarının geniş dağılımına bağlıdır. Sentetik tekstiller, şehir tozu birincil mikro plastiklerin en önemli kaynakları olduğu düşünülmektedir ve rüzgar transferinin okyanusun kirlenmesinin %7'sinden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir [8]. Havadaki diğer mikro plastik kaynakları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir,

- Giysilerden ve ev mobilyalarından gelen plastik parçaları [9, 10],
- Binalardaki malzemeler, atık yakma, atık depolama alanları [9],
- Endüstriyel emisyonlar, partikül süspansiyonu, trafikten salınan partiküller [11],
- Bahçecilik topraklarında kullanılan sentetik partiküller (örn. polistiren torf), gübre olarak kullanılan lağım çamuru [12],
- Adli çalışmalar, ayrıca dış yüzeylerden, araba koltuklarından [13, 14] ve yıpranmış tişörtlerden kopan sentetik lifler olabilmektedir [15].

İlave olarak sentetik giyimin havadaki mikro plastiklerin [9], elyaf malzemesi ve moda ve mevsime bağlı miktarların ana kaynağı olduğu düşünülmektedir [14]. Bu nedenle, sentetik tekstiller hem iç hem de dış ortamda çevresel etkilerden sorumlu olabilmektedirler.

B. MİKROPLASTİKLERİN ŞEKİLLERİ

Mikroplastikler çok çeşitli şekillerde bulunmaktadır. Plastik peletler tablet benzeri küresel, dikdörtgen, silindirik ve disk şekilli en çok ta uçları yuvarlanmış küresel ve oval şekilli olmaktadır [16]. Gelgit ve haliç sedimentlerinde bulunan çoğu parçalar liflerden oluşmaktadır [17, 3]. Mikroplastiklerin şekilleri çevrede kalma süresine bağlı olduğu kadar maruz kaldığı parçalanma işlemlerine de bağlı olarak değişmektedir [18]. Şekil-3'te de görüldüğü gibi levha (sheet), kırıntı (fragment), çizgi/çubuk (line), köpük (foam) şekillide olabilmektedir.



Şekil-3 Mikroplastiklerin Morfolojisi [19]

C. MİKROPLASTİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Mikroplastikleri kategorize edebilmek için olduğu kaynaklar, üretildiği malzeme, tipi, yapısı, şekli, rengi ve aşınmışlık durumu değerlendirilebilmektedir [20]. Günümüzde kullanılan plastiklere bağlı olarak oluşan mikroplastiklerin çeşitli özellikleri esas alınarak yapılmış olan bir sınıflandırma aşağıdaki Tablo 1’de gösterilmektedir. Bu çizelgeden de anlaşıldığı üzere üretilen plastik hangi malzemeden yapılmışsa kullanım sonrası oluşacak mikroplastik de o özellikleri taşıyan parçacıklar halinde olacaktır.








Tablo 1. Mikroplastiklerin kaynakları ve yapısı [1]

Kategoriler	Mikroplastikler
Kaynakları	<ol style="list-style-type: none"><u>Tüketici Ürünlerinden Kaynaklananlar</u>: Kozmetiklerdeki mikroboncuklar; yüz temizleme ve peeling jelleri, şampuan ve sabunlar, diş macunu, eyeliner, rimel, dudak parlaticısı, deodorant ve güneş kremleri.<u>Tekstil Ürünleri</u>: Kıyafetlerde vb. kullanılan polyester, polyamid (nylon) ve polar tekstil malzemeler<u>Endüstriyel hammaddeler, artıkları ve döküntüleri</u>: Plastik üretim, işleme ve şekillendirme işlemlerinden<u>Ulaşımdan Kaynaklananlar</u>: Araç lastiği döküntüleri
Tipi	Plastik parçacıkları, peletler, iplik-lifler, plastik filmler, köpüklü plastikler, granüler plastikler, strafolarlar
Şekilleri	<u>Pelet Şeklinde Olanlar</u> : silindirik, diskler, düz, oval, küresel <u>Parça Şeklinde Olanlar</u> : yuvarlak, yarı yuvarlak, köşeli, yarı köşeli <u>Genel</u> : şekilsiz, uzun, parçalanmış, pürüzlü ve kırık kenarlı
Aşınma Durumu	Yeni, bozunmamış, pürüzlü yüzey, pürüzlü parçacıklar, doğrusal kırıklar, yarı paralel çıkıntılar, yeni başlayan değişim ve çizik düzeyi, oyuklu, pürüzsüz yüzey, bozunmuş ve çok bozunmuş olanlar.
Renk	Transparan (şeffaf), kristalin, beyaz, açık-beyaz-krem, kırmızı, turuncu, mavi, opak, siyah, gri, kahverengi, yeşil, pembe, ten rengi, sarı ve pigmentasyon

Plastik reçine tanımlama ve geri dönüşüm kodlama sistemi Plastik Endüstrisi Topluluğu (SPI) tarafından 1988 yılında geliştirilmiştir [1]. Uluslararası kullanılan bu kodlama, plastik türlerine 1’den 6’ya kadar numara atanarak yapılmış, plastik endüstrisi geliştikçe, özel kriterlere uymayan 1-6 arası etiketlenemeyecek birçok yeni plastik türevleri icat edilmiştir [1].

SPI, kodlamış olduğu altı plastiğin kombinasyon şeklinde kullanılması veya bunların dışında bir plastik kullanılması durumunda 7 numaralı kodu “diğer” malzemeler olarak tanımlamıştır. Çizelge 2’de gösterilen bu geri dönüşüm kodları, üçgen geri dönüşüm sembolü içine yazılmış numaradan oluşmakta ve genellikle ürünün alt tarafında bulunmaktadır. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi bazı malzemelerin sağlık üzerinde olumsuz etkileri saptanmamış ve geri dönüşümü iyi iken bazılarının etkileri her iki anlamda da kötü olabilmektedir.

Tablo 2. Plastik reçine tanımlama ve geri dönüşüm kodları [1]

Plastik Kodu	Simge	Plastik Adı	Morfolojisi	Geri Kullanım	Geri Dönüşüm	Sağlık	Erime Sıcaklığı T_m^* (°C)
	PET, PETE	Polietilen tereftalat	Kristalin Termoplastik	Hayır Tek kullanım	Çok iyi	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	250- 260 $T_g^*=800$ C
	PE-HD, HDPE	Polietilen-yüksek yoğunluklu	Kristalin Termoplastik	Evet	Çok iyi	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	130
	PVC, V	Polivinil klorid (Vinil klorür $CH_2 = CHCl$)	Amorf Termoplastik	Hayır	İçindeki katkı maddeler (Kurşun, DEHA (di (2- etilheksil) adipat), dioksinler, Etilen diklorür, Vinil klorür) yüzünden çok az dönüştürülebilir.	Zararlıdır; Öğrenme güçlüğü, bağışıklık ve hormon bozukluğu, doğum kusurları, genetik değişiklikler.	$T_g=800$ C
	PE-LD, LDPE	Polietilen-düşük yoğunluklu	Kristalin Termoplastik	Evet	Genellikle geri dönüştürülemez.	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	110
	PP	Polipropilen (Propilen $CH_3CH=CH_2$)	Kristalin Termoplastik (Yarı şeffaf beyaz)	Evet	Kolayca dönüştürülemez.	Herhangi bir zarar bildirilmemiş.	160
	PS	Polistiren (Stiren $C_6H_5CH=CH_2$)	Amorf Termoplastik (Renksiz, saydam)	Hayır	Mümkün fakat ekonomik değildir.	Zararlıdır. Stiren' in nörotoksin etkileri ve yağ dokuda depolanabilme özelliği vardır. Kırmızı kan hücreleri üzerinde, karaciğer, böbrek ve mide organlarına zararları bulunmaktadır.	240 $T_g=70-1150$ C
		Polikarbonat, Akrilik,	Çeşitli	Hayır	Karışık plastikleri içerdiğinden zordur.	Zararlıdır. Etkileri plastiğin içindeki reçine ve plastikleştiricinin çeşidine göre değişir. Polikarbonat plastikten bisfenol-A (BPA) adıyla bilinen endokrin bozucu sızar.	-

* T_m = Erime Sıcaklığı, * T_g =Camsı geçiş sıcaklığı

D. MİKROPLASTİKLERİN FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Mikroplastiklerin hidrofobik yüzeylerinin olması, yüzebilmeleri, kirleticileri taşıma potansiyelleri, poliklorlu bifeniller (PCB) ve dikloro difenil trikloroethan (DDT) gibi kirleticileri absorplayabilme, UV foto-oksidatif bozulma, termo oksidatiflik, bio ve/veya termal parçalanma, özellikle biyofilmlerde biyokütle üzerine bağlayıcılık gibi özellikleri bulunmaktadır [20, 21] Mikrokirleticilerin bazıları ve Kalıcı organik kirleticiler (KOK), biyolojik olarak çözülmedikleri veya parçalanmadıkları için çevrede kalıcı etki gösteren insan kaynaklı toksik maddelerdir. Bunlara dioksinler, PCBler, organoklorlu pestisitlerin farklı türleri, DDT'ler, hekza kloro sikloheksanlar (HCH), polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), heksakloro benzenler (HCB) [22] ve bromlu alev geciktiricilerin tamamı örnek olarak verilebilmektedir [1].

Esasında lipofilik oldukları için KOK'lar, deniz organizmalarının yağ dokularında birikmektedir. Bu özelliklerinden dolayı insan ve diğer canlılar için potansiyel olarak birçok olumsuz etkilere (örneğin kanser, malformasyon, immün sistemde ve üreme yeteneğinde bozulma) neden olmaktadır. Plastik peletler de lipofiliktir ve KOK'lar için son derece yüksek bir afiniteye (çekim gücüne) sahip olmaktadır. Plastik reçine peletlerin içindeki KOK'ların konsantrasyonu çevresindeki deniz suyundan bir milyon kat daha fazladır. Bu birikme ilk kez 1998 yılında yapılan deneylerle gözlemlenmiştir [23].

Ayrıca mikroplastiklerin KOK'ları absorplanmasına ek olarak, denizlerdeki atık plastiklerin bünyesinde yapılan incelemelerde plastikleştiriciler, antioksidanlar, anti-statik ajanlar ve alev geciktiriciler gibi katkı maddelerin de bulunduğu tespit edilmiştir [1].

Mikroplastiklerin yapısında bulunabilen bazı kimyasallar (örneğin; nonilfenol, bisfenol-A) hormonlar aracılığı ile vücutta endokrin sisteminin bozulmasına neden olurlar. Bu potansiyel hasarlar, beyin gelişiminin, öğrenme ve davranışların, gövde ve uzuvların, normal cinsel gelişimin bozulması (erkeklerin kadınlaşması ve kadınların erkekleşmesi de dahil olmak üzere) ve artan kanser olayları (örneğin; meme ve prostat kanserleri) gibi sonuçlar doğurabilmektedir. [1].

Mikroplastik tehlikesinin ne kadar yakınımızda olduğunu desteklemek üzere, yapılan bir çalışma da endokrin sistemini bozucu nonilfenollerin su şişesi kapakların da bile mevcut olduğu gösterilmiştir [1]. Plastiklerin çevremizi nasıl sardığını göstermek amacıyla, kullanılan plastik çeşitleri ve kullanım alanları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Plastik çeşitleri ve kullanım alanları [20, 1].

Plastik Adı (Yoğunlukları g.cm⁻³)		Yaygın Kullanım Alanları
ABS (Acrylonitrile butadiene styrene)	Akrilonitril bütadien stiren	Elektronik aletler, Otomotiv, mutfak gereçleri
ASA (Acrylonitrile styrene acrylate)	Akrilonitril stiren akrilat	
PA (Polyamide-Nylon)	Polyamid 1.02-1.04 g.cm ⁻³	Fiber, diş fırçası kolları, misina
PBT (Polybutylene terephthalate)	Polibütülen tereftalat 1.31 g.cm ⁻³	Tekstil, halı
PC (Polycarbonate)	Polikarbonat 1.20-1.22 g.cm ⁻³	Alevi iletmeme ve kendini söndürme özelliği yüksektir. Bu ürünler BPA içerebilir. Tıbbi aletler, su şişesi, kapak, bardak, çatal, mutfak gereçleri, otomotiv, CD, gözlük vb. imalatı
PE (Polyethylene)	Poliyeten 0.917-0.965 g.cm ⁻³	Paketleme, plastik mutfak ürünleri, otomotiv sanayi, altyapı malzemeleri, beyaz eşya ve makina parçaları, oyuncak ve tekstil
PE-HD, HDPE (Polyethylene-high density)	Poliyeten-yüksek yoğunluklu 0.94 – 0.96 g.cm ⁻³	Temizlik maddeleri, çamaşır deterjanı ambalajı, bazı poşetler, şampuan ve süt şişeleri, borular, tanklar, varil, kablo yalıtımı, oyuncak
PE-LD, LDPE (Polyethylene-low density)	Poliyeten-düşük yoğunluklu 0.91 – 0.93 g.cm ⁻³	Şişe, dondurulmuş gıda, ekmek ve market poşetleri
PE-LLD (Polyethylene-linear low density)	Poliyeten-doğrusal düşük yoğunluklu	
PET, PETE (Polyethylene terephthalate)	Poliyeten tereftalat 1.37-1.45 g.cm ⁻³	Pet şişe ismi bundan gelir. Şeffaftır. Su, Meşrubat ve yemeklik yağ.
PMA (Polymethyl acrylate)	Polimetil akrilat 1.22 g.cm ⁻³	
PMMA (Polymethyl methacrylate), Acrylic	Polimetil metakrilat, Akrilik, Pleksiglas 1.15-1.19 g.cm ⁻³	Otomotiv farı, cihaz kapakları, levha, optik ekipmanlar, boya, elyaf, iplik ve ev dekorasyon ürünleri
Polyester	Polyester 1.24-2.3 g.cm ⁻³	Tekstil endüstrisi
POM (Polyoximethylene)	Polioksümetilen, Asetal 1.41-1.61 g.cm ⁻³	Elektrik ve sıhhi tesisat bağlantıları
PP (Polypropylene)	Polipropilen 0.83-0.90 g.cm ⁻³	Otomobil yan sanayi, bahçe mobilyaları, yiyecek kabı, yoğurt ve margarin kapları, çocuk bezleri, biberon, yapay halı kaplama, bahçe mobilyası, vs.
PS (Polystyrene)	Polistiren 0.96–1.05 g.cm ⁻³	Gıda paketleme, elektronik ve beyaz eşya, film, levha, kaplar, kapaklar, et ve yumurta kutuları, şişe, köpüklü izolasyon, aydınlatma, buzdolabı, çamaşır makinesi parçaları, radyo televizyon kasaları, oyuncak, kozmetik kutuları, duvar kaplamaları, ambalaj, izolasyon
PTFE (Polytetrafluoroethylene)	Politetrafloretillen (Teflon)	Mutfak gereçleri, kaplar
PS-E, EPS (Polystyrene-expandable)	Polistiren- genişletilebilir	Elektronik, ambalaj, yalıtım, çatı ve cephe panellerde, dekoratif, döşeme, deponi alanları
PU, PUR (Polyurethane)	Poliüretan 1.2 g.cm ⁻³	Dolgu köpükleri, ısı yalıtım köpükleri, yüzey kaplamaları, baskı silindirleri
PVC (Polyvinyl chloride)	Polivinil klorid 1.16-1.58 g.cm ⁻³	Döşeme, ev dış cephe kaplaması, borular, streç, yiyecek kaplama, şişe, bardak, suni deri, kredi kartı, spor malzemeleri
PVDC (Polyvinylidene chloride)	Poliviniliden klorid 1.63 g.cm ⁻³	Yiyecek paketleme, evsel, endüstriyel gereçler
SAN (Styrene-acrylonitrile)	Stiren-akrilonitril	Mutfak gereçleri, Buzdolabı parçaları, raf ayraçları, ışık kapakları, kozmetik ambalajı

III. MİKROPLASTİKLERİN İNSANA GEÇİŞ YOLLARI

A. ORAL

A.1. İçme Suyu

Mevcut bir atıksu arıtma tesisinin filtrasyon sisteminden geçen arıtılmış suyun, bir içmesuyu kaynağına yakın bölgede deşarj edilmesi çok büyük miktarlarda mikroplastik parçacığının içme sularına geçmesine neden olabilmektedir [24, 12]. Bunun günlük deşarjlarda 50.000 ila 15 milyon parçacık arasında olabileceği tahmin edilmektedir [13].

A.2. Besin Zinciri: Deniz Ürünleri

Sudaki organizmalar, mikro plastiklerce kirlenmiş olan suyu tüketerek veya mikro plastiğe maruz kalmış diğer organizmalarla beslenerek mikroplastiklerle (ve nanoplastikler) kontamine olabilmekte ve insanların mikro plastiklere maruz kalmasına neden olmaktadır. Ek olarak, balıklar, avlanma sonrası esnek polistiren plastik kaplarda depolanırken ve taşınırken kontamine olabilmektedirler [14]. Çeşitli organizmalarda zooplanktonik organizmalar gibi en düşük besin zincirinden omurgasız hayvanlarda (*Crustacea*, yumuşakçalar vb.) ve omurgalılarda (balık) en düşük seviyelere kadar plastik parçacıklar tespit edilmiştir [15]. Türkiye'nin Akdeniz kıyıları boyunca mikroplastik tespiti ile ilgili yapılan çalışmada, 1322 balık örneğinin mide ve bağırsakları incelenmiş, liflerin (%70) ve sert plastiklerin (%20.8) olmak üzere 1622 mikroplastik parçacığı tespit edilmiştir [25] Jabeen ve diğ. yaptığı çalışmada Yangtze Haliçinden, Doğu Çin Denizi'nden ve Güney Çin Denizi'nden toplanan 21 farklı balık türünde (Şanghay balıkçılık pazarlarından satın almış) ve 6 farklı tatlı su balık türünde (Taihu Gölünden balık toplayan yerel balıkçılardan satın alınmış), 26'dan fazla türde mikro plastikler tespit etmişlerdir [26]. Benthopelagik balıklar için, mikroplastikler deniz balıklarında tatlı su organizmalarından daha yüksektir. Diğer bir çalışmada Alman (0.36 0.07 partikül / g) ve Fransız / Belçika / Hollanda çiftliklerinden (0.2 0.3 partikül / g) yetiştirilen çift kabuklularda düşük miktarlarda mikroplastik bulunmuştur [15, 27]. Kanada'da, aynı tür (çift kabuklularda) 500 kat daha fazla mikro plastik ölçülmüştür, bu bölgeler arasında farklı kontaminasyon seviyeleri veya mikroplastik ekstraksiyon yöntemleri arasındaki farkları göstermektedir [28].

A.3. Diğer Gıda Maddeleri

İnsanlar bal [29] ve bira [30] tüketimiyle de mikroplastikler doğrudan maruz kalabilmektedirler. Bu konuyla ilgili yapılan bir çalışmada, 24 Alman bira markasının incelemesinden sonra, araştırmacılar numunelerde 2 ila 79 fiber L^{-1} ve 12 ila 109 fragman L^{-1} ölçmüşlerdir. 8 ülkeden 17 tuz markasından alınan numunelerle yapılan diğer bir çalışmada 149 mm'den daha büyük Polipropilen (PP) ve Polietilen (PE) vb. mikroplastik parçacıkları ölçülmüştür [31]. Buna rağmen, yazarlar bu tuzların tüketimi ile ilgili ihmal edilebilir sağlık riskleri olduğu sonucuna varmakta, insan organizmasına geçen mikroplastiklerin ana kaynağının hala balık ve çift kabuklu gıdalar gibi diğer yiyecekler olduğunu belirtmektedirler. [32].

B. DERMAL MARUZ KALMA: SU VE KOZMETİK

İnsanlar el, yüz yıkama gibi yıkanma sırasında mikro plastiklerle ve/veya nano plastiklerle kontamine olmuş suyla veya mikro plastik ve/veya nano plastik içeren yüz / vücut ovma kremleriyle temas ettiğinde dermal yoldan mikro plastiklere maruz kalmaktadır [33]. Ancak, mikro plastiklerin büyüklüğü nedeniyle ve cilt boyunca partiküllerin alımı, 100 nm'nin altındaki partiküllerle sınırlı olan striatum korneumdan (üst derinin sürekli aşınan, boynuzlaşmış en üst katmanı) hücre içine alımı gerçekleştirilemediğinden deriden emilimin gerçekleşmesi olası görülmemektedir. Bununla birlikte, nano plastikler sonunda insan derisine nüfuz edebilmektedir [34]

C. SOLUMA: HAVA

İnsanların inihalasyon (solunum) yoluyla mikroplastiklere maruz kalması, mikroplastiklerin hava yoluyla alınmasından, potansiyel olarak su ortamlarındaki dalga hareketinden veya atık su arıtma çamuru uygulamasından kaynaklanabilmektedir [35]. Ayrıca, atmosferik serpinti halindeki mikroplastikler, başka bir olası solunum yoluyla maruziyeti kaynağı olarak tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin havadaki mevcudiyeti hakkında çok az çalışma bulunsa da, bazı raporlar mikro plastiklerin atmosferde bulunduğunu göstermektedir. Örnek olarak, atmosferik serpinti sonucu şehirde bina çatılarında mikro plastikler (lifler) tespit edilmiştir (29 – 280 parçacık / m² / gün) [36]. Bazı mikro plastikler atık su arıtma tesislerinden geçebilmekte, plastik parçacıkların bir kısmı atık çamurda tutulabilmektedir. Bu tür kirlenmiş çamurun tarımsal amaçlarla, toprağa uygulanması karasal ortamlarda mikroplastik kirliliği oluşturabilmektedir [37].

IV. MİKROPLASTİKLERİN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

- Sharma ve Chatterjee (2017) [38], yaptığı çalışmada mikroplastik alımının insan kromozomlarında olası değişikliklere işaret ederek kısırlığa, obeziteye ve kansere yol açtığını tespit etmişlerdir.
- Mikroplastikler biyolojik olarak dirençlidir ve insanlarda iltihaplanma, genotoksisite, oksidatif stres, hücre apoptozisi ve doku nekrozu gibi negatif biyolojik tepkilerden ve dolayısıyla lokalize hücre ve doku hasarı, fibroz ve potansiyel olarak kanserojenlikten sorumlu olabilmektedirler [38,40,41].
- Vücut içinde mikroplar, alınan mikro plastiklerin yüzeyine absorblanabilmekte ve potansiyel olarak doğrudan fizyolojik etkilerle(beslenme, toksik-ekolojik, immünolojik ve gelişimsel) sonuçlanan zararlı bakteri olarak görev yapabilmektedirler [39].
- Mikroplastikler, küçük boyutlarından dolayı translokasyondan (kromozom mutasyonu) sonra organlarda tıkanmaya, iltihaplanmaya ve birikmeye neden olan çok çeşitli organizmalar ile etkileşime girebilmektedirler [4, 40].
- Mikroplastik parçacıklar ciltte veya gıda maddelerinde birikmekte, bu durum insan sağlığına etkisinin net olarak bilinmeyen dermal ve besinsel maruz kalma ile sonuçlanabilmektedir [27].

- İnsan akciğerlerinde 250 mm'ye kadar lifler bulunmaktadır [41]. Bunun yanında havadaki mikro plastikler çoğunlukla 200 ila 600 nm arasındaki liflerden meydana gelmektedir [42, 36]. Olası duyarlı kişiler (çocuklar, astım, kronik obstrüktif akciğer hastaları vb.) risk taşımaktadır. İnsanların maruz kalma ihtimalinin yüksek olduğu iç mekan hava konsantrasyonlarını takiben [43] bir insanın akciğerlerinin günde 26 ila 130 mikroplastik parçaya maruz kalabildiği görülmektedir.

Bu, özellikle aşağıdaki maddelere bağlı olarak, duyarlı kişilerde (örneğin çocuklarda) sağlığı açısından risk oluşturabilir:

(a) Mikro plastiklerin büyük yüzey alanlarından kaynaklanan organik malzemelerle etkileşime girme potansiyelinin olması,

(b) Mikro plastiklerin polimerik yapıları ve bazen fibröz şekillerinden dolayı solunum sistemini tıkaması,

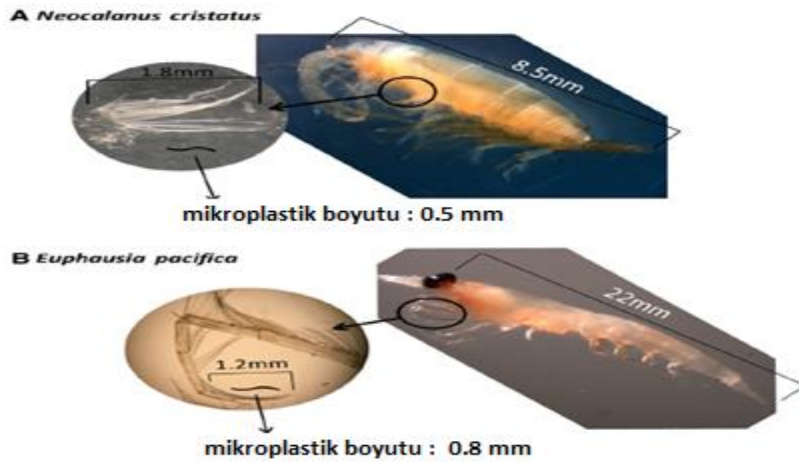
(c) Mikro plastiklerin kalıcı organik kirleticiler (KOK), yumuşatıcılar gibi tehlikeli maddelerin yüzeylerinden salınması gibi [44].

- Bununla birlikte, havadaki nano partiküllere maruz kalma astım, kalp hastalığı, alerji ve otoimmün hastalıklara neden olabilmektedir [45]. 40 mg/m^3 gibi düşük konsantrasyonlar astım ve kardiyovasküler hastalıklardaki akut ölüme neden olabilmektedir [46].
- Öte yandan, mikroplastikler endokrin bozucu madde monomerleri ve katkı maddeleri içerebilmektedir [47]. Mikroplastikler ayrıca kirleticileri atmosferden yoğunlaştırıp, yüksek konsantrasyonlarda ciğerlerimize de ulaştırabilmektedir. Kirleticiler veya monomerler gibi sızıntı suyunun, mikroplastiklerin neden olduğu solunum sistemindeki iltihaplanma ölçөгüne katkıda bulunduğu görülmektedir [44].
- Bazı çalışmalar mikroplastiklerin mikroorganizmalar ile de etkileşime girebildiğini ve hatta mikroplastiklerin ayrı bir mikrobiyal yaşam alanı olarak hizmet edebileceğini göstermiştir [48, 49].
- Daha önce yapılan çalışmalar, yakın zamanda, 0.5 ve $50 \mu\text{m}$ boyutlarındaki polistiren mikro plastik parçalarının hem zebra balığında hem de farelerde bağırsak mikrobiyotasının dengesini bozabildiğini göstermiştir [50, 51]. Jin ve diğ. (2019) [52] erkek ICR farelerinden (genetiği bilinmeyen fare veya sıçan türü) 8 fare türünü $5 \mu\text{m}$ polistiren mikro plastiğe maruz bırakmışlardır. Sonuç olarak, $5 \mu\text{m}$ polistiren mikro plastiklerinin bağırsakta birikebileceğini ve bağırsak bariyer fonksiyon bozukluğunu ve erkek farelerde metabolik bozuklukları başlatabileceğini göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, mikroplastiklerin karasal ekosistemlere maruz kalma potansiyel riskleri konusunda bazı yeni bilgiler sunmakta ve mikroplastiklerin insan sağlığına olası etkileri hakkında bazı temel veriler sunmaktadır. Bu çalışmada, polistiren mikroplastiklerin farelerde amino asit metabolizmasını ve safra asidi metabolizmasını değiştirdiği gözlemlenmiştir [52].

V. MİKROPLASTİKLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Günümüzde mikroplastiklerin çevrede oldukça kalıcı olduğu ve farklı ekosistemlerde artan oranlarda biriktiği bilinmektedir [53]. Bu nedenle, mikro plastikler insanlar için endişe verici olarak görülmektedir. Bununla birlikte, verilerdeki belirsizlik ve değişkenlik, bu mikro partiküllerle ilişkili çevresel risklerin gerçekçi bir değerlendirmesini engelleyen ana faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, mikro plastiklerin gerçek çevresel riskleri belirsizliğini korumaktadır [54].

- Son zamanlarda yapılan deneysel çalışmalar, örneğin; midye (örn.*Mytilus edulis*), [8] ve istiridye gibi çift kabuklu yumuşakçalar, derisidikenliler, kabuklular (örn.Su piresi, *copepod*), istakoz (*Nephros norvegicus*), deniz hıyarı gibi bazı invertebratların, balıkların ve zooplanktonların mikroplastikleri yuttuğunu ve bundan dolayı organlarının ve sindirim sistemlerinin kötü bir şekilde etkilendiklerini göstermektedir [9, 10].
- Midye vb. gibi suyu süzerek beslenen (filter feeding) canlılar, sudaki her türlü maddede bünyelerinde barındırırlar, özellikle atık suların deşarj edildiği alıcı ortamlarda midyeler, atıklardaki çeşitli besinlerle beraber mikroplastikleri de alabilmektedirler [1]. Bu şekilde besin zincirine dahil olan mikroplastikler, midye gibi deniz ürünlerinden insan bünyesine alınmış olmaktadır.
- Avio ve arkadaşlarının [55] yapmış olduğu bir çalışmada plastiğe maruz kalan balıkların karaciğerlerinde mikroplastiklerin varlığını tespit etmişlerdir.
- Yukarıdaki çalışmalar paralel olarak Hussain ve diğerlerinin 2001 yılında [56] yapmış olduğu bir çalışmada da hayvanların bağırsaklarında birikebildiğini ve bağırsak bariyerinden dolaşım sistemine geçebildiğini gözlemlemişlerdir [56].
- Mikro plastiklerin alglerde fotosentezi ve büyümeyi azalttığı görülmüştür [57]. Zooplanktonun ve lugwormların (deniz kurdu) beslenme aktivitesi üzerinde olumsuz etkisi vardır [58]. Ayrıca kirletici maddelerin veya mikroorganizmaların taşınmasından sorumlu olabilmektedirler [59, 4].
- Planktonların mikroplastikleri besin zannederek tükettiği (bkz. Şekil-4), planktonla beslenen ve yeryüzündeki en büyük hayvan olan mavi balinaların (*Balaenoptera musculus*) beslenmeleri sırasında mikroplastikleri dolaylı yoldan bünyesine aldığı ve tuttuğu tahmin edilmektedir [1].
- Ultra ince parçacıklar, yüksek yüzey alanlarından ve PM morbiditesine bağlı olan iç mekanlara nüfuz etme yeteneklerinden dolayı özellikle tehlikeli olmaktadır [60]. Sağlık dışında, PM güneş ışınlarını saçarak ve bulut oluşumuna müdahale ederek iklimi de etkileyebilmektedir [61].



Şekil-4. A) *N. cristatus* and B) *E. pacifica* Türü Zooplanktonda Tespit Edilen Mikroplastikler [62]

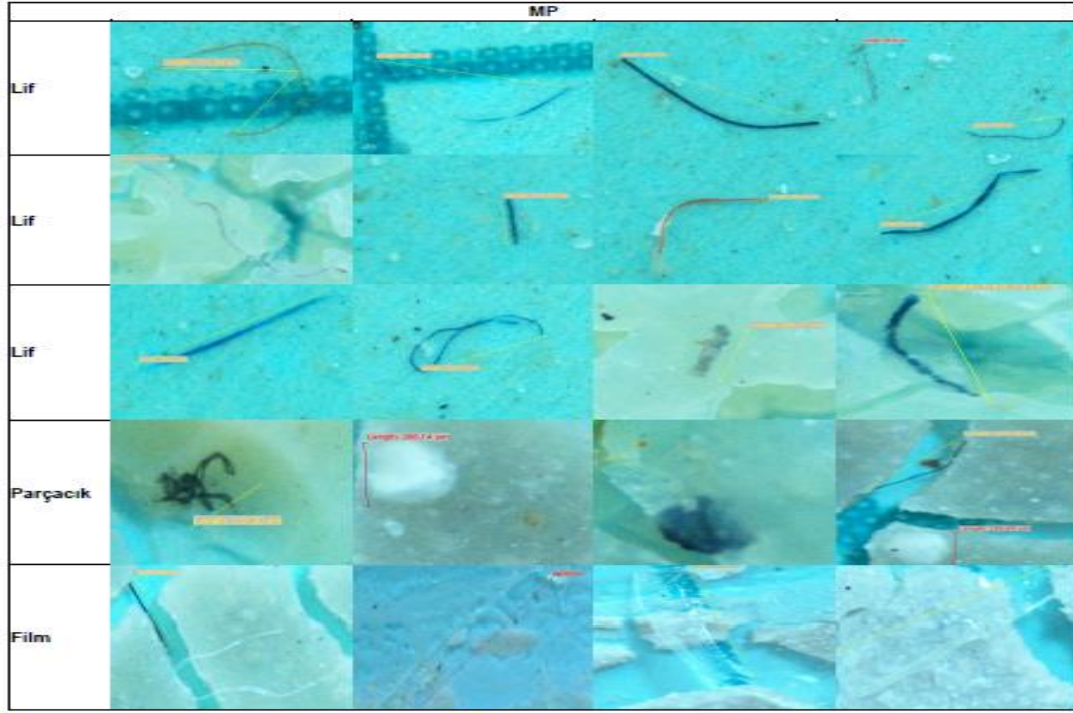
VI. TUZLARDA VE DİĞER DENİZ ÜRÜNLERİNDE **MİKROPLASTİK KİRLİLİK**

Deniz ürünleri (midye ve diğer deniz kabukluları, balıklar, deniz tuzları) insanlar için temel bir besin kaynağıdır. Yapılan çalışmalar ışığında, benzer pek çok ürünün mikroplastiklerce kontamine edilmiş olduğu saptanmıştır. Ayrıca, bu tür ürünlerin insanlar tarafından gıda maddesi olarak uzun süreli tüketilmesinin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. [63, 31]. Tuzlar insanlara temel besin elementlerini sağlamak ve gıdaları daha uzun zaman boyunca muhafaza etmek amacıyla kullanılmaktadır. İnsanların tüketmesi amacıyla gıda hazırlamak için evrensel olarak kullanılmakta ve her birimiz taze hazırlanmış gıdalar, korunmuş gıda maddeleri (örn. Meyve, peynir ve tahıllar gibi) gibi bazı gıda maddelerinde nispeten az miktarda tuz tüketmekteyiz. Tuzlar ayrıca kozmetik ve kişisel bakım ürünleri endüstrisi, ilaç endüstrisinde de çeşitli kullanımlara sahiptirler [64].

Tuzlar esas olarak denizden, tuzlu göllerden, tuzlu kayalardan ve tuzlu su kuyularından elde edilmektedir [65]. Deniz tuzları tipik olarak, buharlaşma ve güneş ışığının birleşik etkileri nedeniyle kristalleşerek salinalarda (güneş enerjisi çalışma havuzları) üretilmektedirler [66, 67, 65]. Avrupa'da da dahil olmak üzere birçok bölgede, antropojenik olarak etkilenmiş kıyı bölgelerinde birkaç tuzhane bulunmaktadır. Bu nedenle, genellikle birkaç kirleticiye maruz kalırlar. Bu tür alanlar ayrıca mikroplastikler tarafından çevresel kirlenmenin sıcak noktaları olarak kabul edildiğinden bazı tuz tesislerinin bu parçacıklar tarafından kirlenmiş olması muhtemeldir [68]. Güneş tuzlu su havuzlarında, deniz tuzu kristalizasyonundan önce, deniz ve tatlı su, farklı tuzluluk seviyelerine sahip ortamların gradyanını sağlayan bir dizi ardışık havuz boyunca dolaşmaktadır. Sonuç olarak ticari deniz tuzları, kristalizasyon işlemleri sırasında / sonrasında suda bulunan mikroplastikleri içerebilmektedir (bkz Şekil-5) [69, 65].

Bazı plastik polimerlerin kendi başlarına etkisiz olduğu veya olumsuz etkilerinin az olduğu düşünülebilir. Bununla birlikte, üretimde kullanılan çok çeşitli plastik katkı maddelerinin ve kimyasalların varlığından dolayı plastik polimerler sağlık riskleri taşımaktadırlar [70]. Örneğin, antimonyum (Sb) ticari olarak polietilentetraftalat (PET) plastik şişelerde bir katalizör olarak kullanılmaktadır ve yüksek sıcaklıklarda (60-85 ° C), içme suyunda salındığı gözlemlenmiştir [71, 14]. Sb'nin mide bulantısı, kusma ve ishal gibi sağlık etkilerine neden olabileceği bilinmektedir. PET, çeşitli çalışmalardan elde edilen deniz tuzu örneklerinde bulunan plastik polimerlerden biridir ve deniz tuzu insanlar tarafından yüksek sıcaklıklarda da kullanıldığından, bu polimer dolaylı olarak insan sağlığını etkileyebilmektedir [14,74].

Mikroplastikler bu tehlikeli kimyasal kirleticileri, metalleri ve toksinleri deniz suyundan emme ve bunları insanlar tarafından tüketilen deniz ürünlerine aktarma kabiliyetine sahiptirler [72, 32, 40, 65]. Deniz ürünleri, insanlar için başlıca gıda kaynakları arasındadır (örneğin, balık, çift kabuklu balık, tuz) ve mikroplastikler şüphesiz bu ürünleri kirletmektedirler. Bununla birlikte, yüksek mikroplastik konsantrasyonları insanlara, bivalflar, kabuklular ve balıklar gibi diğer yiyecek türlerinden ulaşabilmektedir [63, 73, 9, 74]. Deniz ürünlerinde (deniz tuzu, çift kabuklular, kabuklular, balıklar) herhangi bir plastik partikül bulunması, kalitelerini düşürmekte ve yukarıda belirtildiği gibi insanlara etki eden potansiyel toksisitelerini arttırmaktadırlar [63, 72, 9, 75, 32]. Peixotoa ve diğ. yaptığı çalışmada beş ayrı kıtaya yayılmış 38 farklı bölgeden 128 tuz markasında, deniz tuzlarında mikroplastikler bulunmuştur [67].



Şekil-5. Sofra tuzlarında rastlanan mikroplastiklere ait bazı görüntüler [1]

VII. TOPRAKTA MİKROPLASTİK KİRLİLİK

Topraktaki plastik artıklar, toprakta doymuş hidrolik iletkenliği azaltmaktadır [76] ve topraktaki mikrobiyal toplulukları ve topraktaki makrofauna faaliyetlerini etkilemektedir [77]. Toprak mikrobiyal toplulukları, sırayla, besin döngüsünde çok önemli bir role sahiptir ve toksik bileşiklerin mineralizasyonu, biyobozunması ve detoksifikasyonunu içeren kirletici davranışını etkilemektedir [78].

Yang ve diğerlerinin [79] yapmış olduğu çalışmada mikroplastik ilavesinin glifosat çürümesi ve toprak mikrobiyal aktiviteleri üzerine etkileri araştırılmış, toprakta mikrobiyal solunum, yüksek mikroplastik içeriğin eklenmesiyle inkübasyon sırasında önemli ölçüde değiştiği tespit edilmiştir. Toprak b-glukosidaz, üreaz ve fosfataz konsantrasyonları, yüksek mikroplastik içeriğin eklenmesiyle değişmiştir [79]. Her işlemde, mikroplastiklerin boyut dağılımı önemli ölçüde değişmiş, dahası, kübik periyot boyunca oluşturulan başlangıçta eklenen mikro plastiklerden daha küçük olan parçacıklar, su sistemine sızma ya da sürüklenme için potansiyel riskleri göstermektedir [79].

VIII. MİKROPLASTİK NUMUNE ALIM YÖNTEMLERİ

Genellikle, su ortamından mikroplastik numuneleri toplamak için kullanılan başlıca üç örnekleme yöntemi vardır:

- Seçici örnekleme,
- Toplu örnekleme,
- Hacimi azaltılmış örnekleme [20].

Seçici örnekleme, plastik parçaların çıplak gözle tanımlanacak kadar büyük olduğu durumlarda uygulanabilir ve böylece doğrudan çevresel matrislerden elde edilebilir. Bu işlem basit ve anlaşılır olmaktadır. Bu örnekleme stratejisinin dezavantajları aşağıdaki gibidir.

- Algılanabilir mikro-plastiklerin boyut sınırlamasının yüksek olması,
- Daha az belirgin olan maddelerin, özellikle diğer maddelerle karıştırıldığında kolayca göz ardı edilmesidir [80].

Toplu örnekleme, örnekleme işlemi sırasında hacmini düşürmeden tüm örneğin toplanması anlamına gelmektedir. Teoride, numunedeki tüm mikroplastikler, boyutlarına ve görünürlüğüne bakılmaksızın, bu yöntem kullanılarak yakalanabilmektedir. Bununla birlikte, toplu örnekleme, yalnızca örneklemin temsil edilebilirliğini olumsuz yönde etkileyebilecek olan nispeten küçük bir miktarın toplanmasına izin vermektedir [20].

Hacmi azaltılmış yaklaşım, örnekleme sırasında hızlı filtrasyon yoluyla bir toplu numunenin tüm hacminin azaltılmasını ve müteakip analiz için numunenin sadece küçük bir kısmının korunmasını ifade etmektedir. Bu nedenle, hacmi azaltılmış örnekleme, örnekleme sırasında büyük miktardaki veya örnek alanlarını kaplamak için avantajlıdır [80]. Bu yöntemin dezavantajı, hızlı filtrasyon ile numunenin büyük bir kısmının atılmasıdır. Buda önemli miktarda mikroplastik kaybı ile sonuçlanmaktadır.

A. NUMUNE HAZIRLAMA İŞLEMLERİ

Bir önceki adımda belirtilen numune alma ve örnek toplama işleminden sonra, numunelerde bulunan mikroplastikler miktar tayini ve tanımlanma için numune kaplarından çıkarılır. Mikroplastiklerin diğer istenmeyen malzemelerden ayrılmasında kullanılan teknikler arasında ağırlıklı olarak ayırma, eleme, sindirim ve filtrasyon işlemleri bulunmaktadır [81].

A.1. Yoğunluk Ayırma

Yoğunluk ayırma işlemi, karışım malzemeleri iyice çalkalandıktan sonra (sodyum klorür, sodyum iyodür, çinko klorür, sodyum poli tungstat) gibi tuzlar ve sıvının homojen karıştırılmasından sonra daha hafif malzemeleri daha ağır malzemelerden sıvının kaldırma kuvvetini kullanarak, istenilen malzemeler ile diğer istenmeyen malzemelerin yoğunluk farkından yararlanılarak ayrıştırılması işlemidir. Yoğunluk ayırımı, mikro plastikleri çevresel örneklerden özellikle de sediment örneklerinden izole etmek için yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir [20, 82]. Çoğu plastik için spesifik yoğunluklar 0.8 ila 1.70 g/cm³ arasında değişirken, kum veya diğer tortular için ortalama yoğunluklar tipik olarak 2.65 g/cm³tür. Yoğunluk ayırma işlemi için en sık kullanılan tuz çözeltisi (numunenin yoğunluğunu yükseltmek amacıyla kullanılır) doymuş sodyum klorür (NaCl) çözeltisidir (NaCl) 1.202 g/cm³), çünkü NaCl ucuz ve çevre dostudur [15]. Polietilen (PE, 0.917-0.965 g/cm³), polipropilen (PP, 0.85-0.94 g/cm³) ve polistiren (PS, 1.04-1 g/cm³) gibi düşük yoğunluklu mikroplastikleri çıkarmak için NaCl çözeltisinin kullanılması uygundur. [83, 80]. Bununla birlikte, polivinilklorür (PVC, 1.3-1.7 g/cm³) ve polietilen tereftalat (PET, 1.4-1.6 g/cm³) gibi daha yoğun mikro-plastiklerin ayrılması için doymuş NaCl çözeltisi daha az etkilidir. Bu sorunu gidermek için, sodyum iyodür (NaI, 1.8 g/cm³), çinko klorür (ZnCl₂, 1.5-1.7 g/cm³) ve sodyum polytungstat (SPT, 1.4 g/cm³) gibi bazı yüksek yoğunluklu tuz çözeltileri, birçok çalışmada başarıyla kullanılmıştır.

Bununla birlikte, yüksek yoğunluklu tuzlar genellikle pahalıdır ve bazıları çevresel olarak tehlikelidir. Ekstraksiyon işleminin tekrarlanması, mikroplastiklerin örnek matrislerinden daha iyi geri kazanılmasını sağlamanın başka bir etkili yoludur [84]. Örneğin, bir NaCl çözeltisi kullanarak tortu örneklerinden PE mikro plastiklerinin ekstraksiyon verimleri, birinci, ikinci ve üçüncü ekstraksiyon için sırasıyla %61, %83 ve %93'e ulaşabilmektedir [80]. Bu nedenle, daha yüksek ekstraksiyon verimi

elde etmek ve çevre kirliliğini en aza indirmek amacıyla, ağır tuz çözeltilerinin geri dönüşümü ve ekstraksiyon işlemini tekrarlamak tavsiye edilmektedir [80].

A.2. Eleme

Eleme, mikro-plastiklerin su ve sediment matrislerinden izole edilmesi için sıkça kullanılan bir diğer yöntemdir. Elekler genellikle paslanmaz çelik veya bakır gibi metalden yapılmaktadır [83]. Elek, gözenek boyutundan daha büyük olan katı malzemeleri fiziksel olarak yakalar ve su ve daha küçük parçacıkların numuneden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Eleklerin ağ boyutu esas olarak toplanacak mikroplastiklerin istenen boyut aralığına bağlı olmakta ve çoğunluğu 0.035 ila 4.75 mm arasında değişmektedir [20, 85, 80]. Su numuneleri doğrudan elenebilir veya numunenin büyük miktarlarda biyolojik materyal içerdiği durumlarda elemeyen önce bir sindirim basamağına maruz kalabilir [86]. Sediment örnekleri için eleme, sonraki ekstraksiyon için numune hacminin azaltılmasına yardımcı olmaktadır [86]. Mikroplastikleri birkaç boyut kategorisine ayırmak için, numunenin içinden geçeceği azalan bir ağ ebadına sahip olan bir seri elek kullanılarak çok-katmanlı eleme birçok çalışmada başarılı bir şekilde kullanılmıştır [80]. Eleme işleminden sonra farklı ebatlarda partiküller farklı eleklerde tutulmaktadır.

A.3. Organik Maddelerin Ayrıştırılması

Doğal ortamdan toplanan örnekler, kaçınılmaz olarak, zooplankton, fitoplankton, suda yaşayan organizma kalıntıları veya biyolojik partiküllerin (ör., kahverengi alg veya bakteri filmi) gibi büyük miktarda doğal partiküllerin yüzeyine tutturulmuş biyolojik maddeler içermektedir. Sindirim, çevresel numunelerdeki engelleyici organik maddelerin uzaklaştırılmasını amaçlayan bir işlemdir. Tipik olarak oksitleyiciler, asitler veya alkalın maddeler kullanan biyomateryal çözünme işlemi için çeşitli teknikler geliştirilmektedir [83, 80]. Su ve sediment örnekleri için, doğal organik döküntülerin sindirimi için sık sık hidrojen peroksit (H_2O_2) uygulanmaktadır. Kurutulmuş tortu numunelerinin, filtrasyondan sonra filtrelerdeki kalıntıların veya % 30 H_2O_2 çözeltisi kullanılarak yapılan mikro plastiklerin muamele edilmesi, büyük miktarda organik safsızlığı giderebilmektedir [87]. H_2O_2 ve sülfürik asit (H_2SO_4) veya Fe^{2+} çözeltisi gibi diğer maddelerin karışımları, numunelerdeki doğal organik maddeleri hızla ortadan kaldırmaktadır [88]. Mineral asitlerin veya alkalilerin kullanımının ayrıca karışan organik parçaların parçalanmasında etkili olduğu kanıtlanmıştır [84]. Bazı durumlarda, saf su ile durulama ve ultrasonik temizlik de mikro plastik partiküllerden organik veya inorganik yüzeye yapışan maddeleri uzaklaştırmak için kullanılmaktadır [83]. Biyotik numunelerde biyolojik dokuları sindirmek için en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, nitrik asit (HNO_3), perklorik asit ($HClO_4$), hidroklorik asit (HCl) veya yukarıdakilerin bir karışımı gibi güçlü oksitleyici asitler kullanarak oluşturulan asit sindirimidir. HCl ve H_2O_2 ile karşılaştırıldığında, HNO_3 , biyolojik dokuların sindirilmesinde, özellikle ısı uygulandığında daha da etkili olmaktadır [62, 89]. En başarılı yöntem, biyolojik dokuları ve diğer doğal döküntüleri tamamen mikroplastiklerden ayırabilen %68 perklorik asit ($HClO_4$) ve %65 nitrik asit (HNO_3) karışımını kullanarak oluşturulan bir asit karışımını içermektedir. Biyomateryal sindirim için yaygın olarak kullanılan diğer yöntemler tipik olarak güçlü bazların kullanımını içermektedir. Örneğin, %10 potasyum hidroksit (KOH), mikro plastikleri, balık türleri ve çift kabuklu hayvanların sindirim kanallarından izole etmek için başarıyla kullanılmıştır [90, 91]. Ek olarak, H_2O_2 ve sodyum hipoklorit ($NaClO$) gibi bazı oksitleyici maddeler de mikroplastik araştırmalarda biyolojik dokuların çözünmesi için kullanılmaktadır [92, 93].

A.4. Filtreleme

Filtrasyon, yalnızca sıvının geçmesine izin veren bir filtre ortamı kullanılarak mikroplastik parçacıkları sıvılardan (örneğin yoğun su numuneleri veya yoğunluk ayırma işleminden elde edilen süpernatant (üstte kalan, yüzen) çözeltileri) ayırmak için yaygın olarak kullanılan etkili bir yöntemdir. Filtreleme için kullanılan ortam, en sık kullanılan filtre olarak cam elyafları ve nitro-selüloz, polikarbonat membranlar, zooplankton filtreler veya izopor filtreler gibi diğer bazı filtreleri içermektedir [20, 83, 94]. Filtrelerin gözenek ebadı genellikle 0,45 ila 20 mm arasındadır. Filtrasyon, mikroplastikleri sıvılardan ayırmak için basit bir işlem olsa da, sıvılar, filtre ortamını hızla tıkayabilen ve böylece etkinliğini azaltabilen çeşitli mikroskobik partiküller veya döküntülerle dolu olduklarından, sıklıkla komplikasyonlar ortaya çıkmaktadır [80]. Bu dezavantaj, çözelti hacminin azaltılması, daha ağır katı parçacıkların süpernatandan ayrılmasını kolaylaştırmak için sıvıların daha uzun süre çökeltilmesi, daha büyük bir gözenek boyutuna sahip bir filtre kullanılarak ön filtreleme aşaması gerçekleştirilmesi gibi çeşitli yararlı önlemlerle hafifletilebilmekte veya katı fraksiyonun çökebilecek hale getirilmesi için sıvıya bazı kimyasalların (örneğin, demir sülfat) eklenmesi ile hafifletilebilmektedir [80]. Laboratuvar malzemelerinin duvarlarına yapışmalarından dolayı mikro plastiklerin kaybını en aza indirmek için, filtreleme işlemi sırasında cam duvarların filtre üzerinde tekrar tekrar durulanması önerilmektedir [83].

A.5. Deney Esnasında Kalitenin Artırılabilirliği

Arka plan kontaminasyonu (örneğin, havadaki lifler), çevresel örneklerin kantitatif sonuçlarına göre olduğundan fazla değerlerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir [90]. Kontaminasyonunu kontrol etmek için, numune alma ve laboratuvar işleme sürecinde bir dizi prosedürel testler yapılmalıdır [82, 19].

Örneğin,

- Potansiyel hava kaynaklı kontaminasyon, iş yerindeki havanın filtre kağıdı içinden vakum koşullarında belli bir süre filtre edilerek incelenebilir [95].
- Lateks eldiven ve saf pamuklu giysiler giyilmesi,
- Deney aparatlarını dikkatlice durulamak ve
- İşyerini temiz tutmak gibi bazı koruyucu önlemler de arka plan kirlenmesini azaltmada yardımcı olmaktadır [82, 95].

IX. MİKROPLASTİKLERİN TANIMLANMASI

Mikro plastik süspansiyonlar optik mikroskop, elektron mikroskobu, raman spektroskopisi ve fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile tanımlanabilmektedir. Mezo plastikler spektroskopik ve görüntüleme teknikleriyle, mikroplastikler, mikrospektroskopi ve flouresans teknikleriyle ve nanoplastikler ise elektron mikroskopi ile görüntülenebilmektedir. Yuvarlaklık, parçacık boyutu ile ters orantılı olarak değişmektedir. Daha büyük parçacıklar daha ince uzun ve/veya pürüzlü yüzeye sahipken giderek küçülen parçacıkların ise daha yuvarlak şekilli olarak bulunmaktadır. Muhtemelen parçacıklar zamanla daha küçük parçalara ayrılmaya ve bozunmaya devam etmektedir [59]. Saha toplanması ve numunelerin laboratuvar hazırlığının ardından, hedef mikroplastiklerin kalan matristen doğru bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Mikro plastiklerin tanımlanması için en yaygın kullanılan yaklaşım, olası plastiklerin görsel olarak incelenmesinden sonra, genellikle optik ve

spektroskopik veya termo-analitik tekniklerin birleşik kullanımını içeren polimerik bileşimin kimyasal analizini içermektedir [81].

A. OPTİK TEKNİKLER

Görsel tanımlama, çıplak gözle gözleme veya optik bir mikroskop (tipik olarak bir stereomikroskop) yardımı ile elde edilebilecek mikroplastiklerin tanımlanmasında en basit ve en yaygın kullanılan tekniktir (bkz Şekil-6). Şekiller ve renkler, şüpheli bir ögenin mikroplastik olup olmadığını belirlemenin temelini oluşturmaktadır [80]. Tanımlama sonuçlarının doğruluğunu arttırmak için, mikroplastikleri görsel olarak incelerken kesin olarak takip edilmesi gereken bir dizi seçim kriteri önerilmektedir:

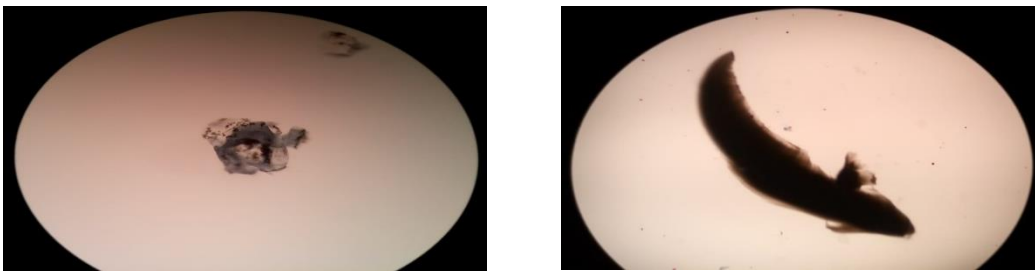
- Şüpheli partiküller veya lifler görünür bir organik veya hücreli yapıya sahip değildir, lifler tüm uzunluk boyunca tutarlı bir kalınlığa ve renge sahip olmalıdır,
- Partiküller şeffaf ve homojen renklidirler, şeffaf ve beyaz parçacıklar, yüksek büyütme bir mikroskop veya bir floresans mikroskobu altında da doğrulanmalıdır [20, 83].

Görsel tanımlama, özellikle pahalı analitik cihazların bulunmadığı durumlarda, yüksek hacimli numuneler için uygun bir yöntemdir.

Bununla birlikte, mikroplastikleri görsel olarak tanımlarken tespit sonuçlarının kalitesi,

- Denetçinin öznelliği,
- Numune matrisi,
- Partikül şekli ve büyüklüğü
- İnceleme için kullanılan mikroskop gibi birçok faktöre bağlı olmaktadır [86, 96].
- Ek olarak, zamanla bozunmuş mikroplastiklerin dış görünüşlerinde bazı değişiklikler olabilir ve bu durum görsel tanımlamayı daha da zorlaştırabilmektedir [80].

İncelenen parçacıkların boyutu azaldıkça, optik tekniklerle yanlış tanıma olasılığı oldukça artmaktadır [80]. Bu dezavantajlar, görsel tanımlama sonuçlarına yüksek bir hata oranı verebilmektedir [20, 86]. Bu nedenle, özellikle küçük nesnelere, şüpheli mikroplastiklerin kimliğini doğrulamak için bazı spektroskopik aletler veya başka analitik teknikler kullanılması önerilmektedir.



Şekil-6 Mikroplastiklerin Mikroskop Altındaki Görüntüsü

B. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM), numune yüzeyine yüksek yoğunluklu bir elektron ışını atışarak ve raster tarama modelinde tarayarak, bir numunenin yüksek çözünürlüklü görüntülerini sağlayabilmektedir [80]. Numunenin yüzey detayları (<0.5 nm çözünürlük) elektronlar tarafından çok

yüksek büyütmelede görüntülenmektedir. Potansiyel mikro plastikler, SEM kapsamında yüzey morfolojilerinin yüksek çözünürlüklü görüntülerini inceleyerek diğer organik veya inorganik safsızlıklardan ayırt edilebilmektedirler [80]. SEM ayrıca, bu plastik parçacıklar üzerindeki özellikli yüzey dokularını inceleyerek doğal ortamdan elde edilen mikro plastiklerin ayrışma sürecini analiz etmek için de kullanılabilir [97]. SEM ve enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisinin birleşik kullanımı (SEM-EDS), mikro-plastiklerin temel bileşimi ve içerdikleri inorganik katkı maddeleri hakkında detaylı bilgi sağlayabilir [80, 98]. SEM-EDS kullanımı, görüntüleme ve elementel analiz yoluyla doğal materyallerin mikroplastiklerden daha fazla ayırt edilmesine yardımcı olmakta ve bu şekilde spektroskopik analiz için gerekli olan partikül miktarını daraltmaktadır [98]. Her ne kadar SEM, mikro plastiklerin yüzey özelliklerini incelemek için başarılı bir şekilde kullanılmış olsa da, bu teknik, numune hazırlama için oldukça zaman alıcıdır ve çaba gerektirir. Bu nedenle çok sayıda numunenin taranması için geçerli bir yöntem değildir [98].

C. FOURIER DÖNÜŞÜMÜ KIZILÖTESİ SPEKTROSKOPİSİ (FTIR)

Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), belirli bir kimyasal bağ için benzersiz bir kızılötesi spektrum sağlayabilmektedir. Farklı malzemeler, farklı bağ bileşimlerine sahiptir ve bu da bilinmeyen bir maddenin, tayfını bilinen maddelerin tayfı ile karşılaştırarak tanımlanmasını mümkün kılmaktadır [19]. Yüksek güvenilirliği nedeniyle FTIR, çevresel örneklerden elde edilen mikro plastiklerin kimyasal karakterizasyonun da en sık kullanılan tekniklerden biri haline gelmektedir [19, 99]. Mikro plastikler için izleme programlarında FTIR esas olarak iki şekilde kullanılmaktadır: şüpheli tüm parçacıkları taramak [62] veya görsel tanımlama sonuçlarını doğrulamak için bir dizi alt örneği analiz etmek [95]. FTIR kullanılarak analiz edilecek şüpheli parçacıkların sayısının artırılmasının verilerin doğruluğunu artırabileceğinden şüphe olmasa da, zaman ve maliyet gibi sınırlayıcı faktörler dikkate alınmalıdır. FTIR sadece çoklu mercekle tip mikro plastikleri tam olarak tanımlayamaz, aynı zamanda oksidasyon yoğunluklarını analiz ederek mikroplastiklerin fizyokimyasal yıpranması hakkında daha fazla bilgi sağlayabilmektedir [99]. Bununla birlikte FTIR, mikroplastiklerin polimerik bileşimini sadece >10 ila 20 mm büyüklüğünde belirleyebilmekte ve hedef parçacıkların açıklık boyutundan daha küçük olduğu durumlarda uygulanabilirliğini kaybetmektedir [88]. Ayrıca, FTIR kullanarak şüpheli mikro plastik parçacıkların kimliğinin doğrulanması zaman alıcı bir iştir ve bazen çok deneyimli bir operatör gerektirmektedir [88].

FTIR mikro-spektroskopisi (mikro-FTIR), zayıflatılmış toplam yansıma-FTIR (ATR-FTIR) ve odak düzlemi dizisi (FPA) -FTIR spektroskopisi (FPA-FTIR) gibi optimize edilmiş FTIR teknolojileri de daha fazla kullanılmaktadır. Micro-FTIR, daha küçük parçacıkların (> 10 mm) algılanmasını kolaylaştırmaktadır [86]. ATR-FTIR büyük (> 500 mm) ve düzensiz şekilli parçacıkların bir numune hazırlama aşaması olmadan doğrudan analiz edilmesini sağlamaktadır [86]. FPA-FTIR, filtre kağıdını yüksek derecede yanal çözünürlükle tarayarak tüm plastik parçacıkların (> 20 mm) tarafsız yüksek verim analizi sunabilir [100]. Çok yaygın FPA-FTIR tekniği olarak geçirgenlik modunda FTIR görüntüleme, analiz edilen partiküllerin aynı anda kimyasal ve fiziksel karakterizasyonunu mümkün kılar ve böylece çevresel numunelerdeki mikro plastiklerin tespiti ve tanımlanmasında uygulanabilirliği artmaktadır [80, 101]. FTIR ile karşılaştırıldığında, FPA-FTIR mikro plastiklerin tespitinde çok daha hızlıdır, ancak numune hazırlama ve tespit aşamaları daha maliyetlidir [88].

D. RAMAN SPEKTROSKOPİSİ

Raman spektroskopisi, mikroplastiklerin çeşitli çevresel matrislerden polimer tanımlanması için sıklıkla kullanılan ve oldukça güvenilir bir tekniktir [102]. Mikroplastiklerin Raman spektroskopisi ile tanımlanması, mono-kromatik lazer ışınının şüpheli bir numuneye ışınlanmasıyla gerçekleştirilir; bu, numunenin spesifik moleküler yapısı ve atomik kompozisyonu tarafından absorpsiyon, saçılma veya yansıma nedeniyle geri saçılan ışığın farklı bir frekansıyla sonuçlanmaktadır [80]. Bu bilinen Raman kayması, her polimer için benzersiz bir spektrum üretebilmektedir. Raman spektroskopisi, numuneler için daha fazla analiz yapılması gereken durumlarda oldukça avantajlı olan, mikroplastiklerin tahribatsız kimyasal karakterizasyonunu mümkün kılmaktadır [99]. FTIR tekniklerine göre, Raman spektroskopisi, daha yüksek uzamsal çözünürlük, daha geniş spektral aralık, daha dar spektral bağlar ve su parazitine daha düşük duyarlılık açısından avantajlı olmaktadır [102, 103]. Mikroskopi (mikro-Raman) ile bir Raman spektroskopisi kombinasyonu, 1 mm'ye kadar olan mikroplastiklerin tanımlanmasını mümkün kılmakta, bu da diğer spektroskopik tekniklerin elde edilmesi için son derece zor olmaktadır [80]. Tüm numunenin uzamsal kimyasal görüntülerinin, Raman spektral görüntüleme ekipmanıyla birleştirilmiş mikro-Raman spektroskopisi kullanılarak, <1 mm uzamsal çözünürlükte elde edilmesi pratiktir [86]. Raman spektroskopisi, biyolojik dokulardaki mikroplastikleri yerleştirmek için konfokal lazer tarama mikroskopisi ile de birleştirilebilmektedir [10]. Raman tekniklerinin en büyük dezavantajı, tanımlama doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilecek katkı maddeleri, pigmentler veya mikroplastiklerle ilişkili ekli kimyasalların varlığı ile kolayca engellenmesidir [88]. Ek olarak, Raman spektroskopisinin sinyal / gürültü oranı kendiliğinden düşüktür ve bu nedenle spektrum analizinin zorluğunu artırabilmektedir [102]. Ancak, bu Raman spektroskopisinin mikroplastik araştırmalarda güçlü bir analitik teknik olmasını engellememektedir.

E. PİROLİZ GAZI KROMATOĞRAFİSİ (PYR-GC-MS) SPEKTROMETRESİ

Piroliz gazı kromatografisi spektrometresi (Pyr-GC-MS), termal bozunma ürünlerini analiz ederek çevresel mikroplastiklerin kimyasal tanımlanmasında da başarıyla kullanılan yıkıcı bir tekniktir [98]. Mikroplastiklerin polimer tipleri, karakteristik pirogramları, bilinen saf polimerler tarafından üretilen referans pirogramları ile karşılaştırılarak belirlenebilmektedir [86]. Pyr-GC-MS, katı numune partiküllerinin minimum numune ön işlemeyle direkt olarak girmesine izin vermektedir. ATR, FTIR, mikroskop spektroskopisinin aksine, Pyr-GC-MS'nin önemli bir avantajı, aynı anda polimerin kimyasal bileşimi ve içerdiği organik katkı maddeleri hakkında ayrıntılı bilgi sağlayabilmesidir [104]. Ek olarak, Pyr-GC-MS, analiz edilen parçacıkların şekline, boyutuna ve ilişkili organik veya inorganik kirlenici maddelerine karşı duyarlı değildir [104]. Pyr-GC-MS'nin iz analizi için uygulanabilir olduğunu belirten bir ölçüm için sadece küçük bir miktar numuneye ihtiyaç olmaktadır (100 -500 mg) [105]. Bununla birlikte, bu teknik döngü başına analiz edilmek için sadece bir parçacık gerektirir ve bir ölçüm için gereken süre 30 ila 100 dakika arasındadır, bu da kaçınılmaz olarak büyük örneklem miktarlarının analizi için uygulanabilirliğini sınırlamaktadır [104]. Potansiyel mikroplastik parçacıkların piroliz tüpüne manuel olarak yerleştirilmesi gerektiği gerçeği göz önüne alındığında, sadece elle manipüle edilecek kadar büyük partiküller (> 100 mm) Pyr-GC-MS tarafından analiz edilmeye uygundur [106]. Bu problemlerin üstesinden gelmek için, Pyr-GC-MS varyantları, termal ekstraksiyon ve desorpsiyona kromatografisem tayf spektrometresi (TED-GC-MS) gibi yeni teknikler geliştirmek için kullanılmaktadır [105]. TED-GC-MS, termal ekstraksiyonu mognravimetric analiz (TGA) ve termal desorpsiyon gazı kromatografisi kütle spektrometrisi (TD-GC-MS) ile birleştirerek çevresel numunelerde belirli polimer tiplerinin mikro plastiklerinin hızlı ölçümünü mümkün kılmaktadır [105]. Spektroskopik yöntemlerle karşılaştırıldığında, termo-analitik tekniklerin en büyük

dezavantajları, tahrip edici olmaları, yalnızca kimyasal karakterizasyon yapabilmeleri, ayrıca analiz edilen mikroplastiklerin parçacık boyutu ve boyut dağılımı gibi morfolojik özellikleri hakkında ayrıntılı bilgi verememeleridir [88, 104].

X. SONUÇ

Mikroplastikler hem insan sağlığı hem de çevre sağlığı için tehlike oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalarda mikroplastiklerin besin zincirine girerek canlı bünyelerinde biriktiği, küçük canlılarda (su piresi, zooplankton, toprak solucanı vb.) sindirim kanallarını tıkkattığı görülmektedir. Mikroplastikler, plastik madde üretilirken içerisine katılan kimyasal maddelerden dolayı (esneklik, basınca dayanım, yüksek ya da düşük sıcaklıklara dayanım amacıyla) toksik olabilmektedir. Bir başka tehlike ise mikroplastiklerin yüzeylerine absorbe olabilen PCB, DDT gibi zararlı kimyasalların da mikroplastiklerle birlikte canlı vücuduna alınabilmesidir. Ayrıca mikroplastığe absorbe olan bu kirleticilerle birlikte, mikroplastığın de insani tüketim amaçlı tuzlara absorbe olup sofralara kadar gelebilmesidir. Görüldüğü gibi mikroplastikler tehlike saçmakta ve insan bünyesine ulaşana kadar toksik özelliği katlanarak artmaktadır.

Mikroplastik kirliliğinin çevre ve insan sağlığına etkilerinin daha fazla araştırılmasına ihtiyaç vardır. Şimdiye kadar yapılan araştırmalarda tehlike görülmüş ancak tam olarak tehlikenin boyutu kestirilememiştir. Bu yüzden mikroplastiklerin çevre ve insan sağlığına etkileri daha fazla araştırılması gerekmektedir.

Mikroplastik kirliliğinin azaltılabilmesi / önlenbilmesi amacıyla bazı önlemler alınmalıdır;

- Geri dönüşüm oranı artırılmalı, kaynağında ayrıştırma tercih edilmeli ve plastik malzemenin düzenli depolama sahalarına gönderilmemesinin sağlanması gerekmektedir,
- Plastik üretiminde ham madde olarak biyo-bozunur malzemeler kullanılmalı,
- Esneklik, basınca, sıcak ya da soğuğa dayanım amacıyla üretiminde kullanılan toksik kimyasallar yasal düzenlemelerle kısıtlanmalı ve gıda maddelerinde özellikle dikkat edilmelidir,
- Çamaşır makinelerinden kaynaklı mikro fiber salınımını önlemek için filtre kullanılmalı,
- Plastik torbalar/poşetler ücretli olmalı,
- Tek kullanımlık plastik kaşık, çatal, bıçak, pipetler yerine tekrar kullanılabilir nitelikte ürünler tercih edilmeli,
- Yasal düzenleme/kısıtlamalarla plastik üretimi, tüketimi, geri dönüşümü, bertarafı kontrol altına alınmalıdır.

Mikroplastiklerin birçok analiz metodu olmasına rağmen bu metodlar hem maliyetli hem de zaman alan metodlardır. Mikroplastiklerin analiz metodlarının geliştirilmesine de ihtiyaç vardır.

XI. KAYNAKÇA

- [1] Yurtsever M, “Mikroplastikler’e Genel Bir Bakış”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, c. 17, s. 50, ss. 68-83, 2015.

- [2] T. de Scisciolo, E. N. Mijts, T. Becker ve M. B. Eppinga, “Beach debris on Aruba, Southern Caribbean: Attribution to local land-based and distal marine-based sources”, *Marine Pollution Bulletin*, no. 106, pp. 49-57, 2016.
- [3] R. C. Thompson, Y. Olsen, R. P. Mitchell, A. Davis, S. J. Rowland, A. W. John , D. McGonigle ve A. E. Russell , “Lost at Sea: Where is all the Plastic?”, *Science*, vol. 304, pp. 838, 2004.
- [4] J. Wang, Z. Tan, J. Peng, Q. Qiu ve M. Li, “The behaviors of microplastics in the marine environment”, *Marine Environment Resarch*, vol. 113, pp. 7-17, 2016.
- [5] C. J. Moore, “Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat”, *Environmental Research*, vol.108, no. 2, pp. 131-139, 2008.
- [6] Q. Qiu, Z. Tan, J. Wang, J. Peng, M. Li ve Z. Zhan, “Extraction, enumeration and identification methods for monitoring microplastics in the environment”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 176, pp. 102-109, 2016.
- [7] J. Talvitie, A. Mikola, A. Koistinen ve O. Setälä, “Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies”, *Water Research*, vol. 401, pp. 123, 2017.
- [8] P. Farrel ve K. Nelson , “Trophic Level Transfer of Microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.)”, *Environmental Pollution*, vol. 177, pp. 1-3, 2013.
- [9] M. A. Browne, A. Dissanayake , T. S. Galloway , D. M. Lowe ve R. C. Thompson, “Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis*”, *Environmental Science&Technology*, vol. 42, pp. 5026-5031, 2008.
- [10] M. Cole , P. Lindeque, E. Fileman , C. Halsband , R. Goodhead , J. Moger ve T. S. Galloway , “Microplastic Ingestion by Zooplankton”, *Environmental Science&Technology*, vol. 17, no. 12, pp. 6646-6655, 2013,
- [11] A. Ballent , S. Pando , A. Purser , M. F. Juliano ve L. Thomsen , “Modelled Transport of Benthic Marine Microplastic Pollution in the Nazaré Canyon”, *Biogeosciences*, vol. 10, pp. 7957-7970, 2013.
- [12] S. A. Carr, J. Liu ve A. G. Tesoro, “Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants”, *Water Research*, vol. 91, pp. 174-182, 2016.
- [13] S. A. Mason , D. Garneau , R. Sutton , Y. Chu , K. Ehmann , J. Barnes , D. Papazissimos ve D. L. Rogers, “Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent”, *Environmental Pollution*, vol. 218, pp. 1045-1054, 2016,
- [14] M. Revel, A. Châtel ve C. Mouneyrac, “Micro(nano)plastics: A threat to human health?”, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, vol. 1, pp. 17-23, 2017.
- [15] L. Van Cauwenberghe, M. Claessens , M. B. Vandegehuchte ve C. R. Janssen , “Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural

- habitats”, *Environmental Pollution*, vol. 199, pp. 10-17, 2015.
- [16] A. H. Abu-Hilal ve T. H. Al-Najjar , “Plastic Pellets on the Beaches of the Northern Gulf of Aqaba”, *Aquatic Ecosystem Health and Management*, vol. 12, pp. 461-470, 2009.
- [17] M. Browne, P. Crump, S. Niven, E. Teuten , A. Tonkin, T. Galloway ve R. Thompson, “Accumulations of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks”, *Environmental Science&Technology*, vol. 45, p. 9175–9179, 2011.
- [18] M. J. Doyle MJ, W. Watson , N. M. Bowlin ve S. B. Sheavly , “Plastic Particles in Coastal Pelagic Ecosystems of the Northeast Pacific Ocean”, *Marine Environment Resarch*, vol. 71, pp. 41-52, 2011.
- [19] A. B. Silva, S. B. Ana, I. J. Celine, J. P. Costa, A. C. Duarte ve T. A. Rocha-Santos, “Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry”, *Analytica Chimica Acta*, vol. 1017, pp. 1-19, 2018.
- [20] V. Hidalgo-Ruz, L. Gutow, R. C. Thompson ve M. Thiel , “Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods used for Identification and Quantification”, *Environmental Science&Technology*, vol. 46, pp. 3060-3075, 2012.
- [21] S. L. Wright , R. C. Thompson ve T. S. Galloway , “The Physical Impacts of Microplastics on Marine Organisms: A Review”, *Environmental Pollution*, vol.178, pp. 483-492, 2013.
- [22] E. Besseling, A. Wegner , E. M. Foekema , M. J. Van den Heuvel-Greve ve A. A. Koelmans , “Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina*”, *Environmental Science&Technology*, vol. 47, no. 1, pp. 593-600, 2012.
- [23] Y. Mato, T. Isobe , H. Takada , H. Kanehiro , C. Ohtake ve T. Kaminuma , “Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment”, *Environmental Science&Technology*, vol. 35, no. 2, pp. 318-324, 2001.
- [24] M. Eriksen , S. Mason , S. Wilson, C. Box, A. Zellers A, W. Edwards ve S. Amato , “Microplastic Pollution in the Surface Waters of the Laurentian Great Lakes”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 77, no. 1, pp. 177-182, 2013.
- [25] O. Güven, K. Gökdag , B. Jovanovic ve A. E. Ködeys, “Microplastic litter composition of the Turkish territorial waters of the Mediterranean Sea, and its occurrence in the gastrointestinal tract of fish”, *Environmental Pollution*, vol. 223, pp. 286-294, 2017.
- [26] K. Jabeen, L. Su , J. Li , D. Yang , C. Tong , J. Mu ve H. Shi , “Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China”, *Environmental Pollution*, vol. 221, pp. 141-149, 2017.
- [27] L. Van Cauwenberghe ve C. R. Janssen, “Microplastics in bivalves cultured for human consumption”, *Environmental Pollution*, vol.193, pp. 65-70, 2014.
- [28] A. Mathalon ve P. Hill, “Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax

- Harbor, Nova Scotia”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 81, no. 1, pp. 69-79, 2014.
- [29] G. Liebezeit ve E. Liebezeit , “Non-pollen particulates in honey and sugar”, *Food Additives & Contaminants*, vol. 30, pp. 2136-2140, 2013.
- [30] G. Liebezeit ve E. Liebezeit , “Synthetic particles as contaminants in German beers”, *Food Additives & Contaminants*, vol. 31, no. 9, pp. 1574-1578, 2014.
- [31] A. Karami, A. Golieskardi, C. Keong Choo, V. Larat, T. S. Galloway ve B. Salamatina, “The presence of microplastics in commercial salts from different countries”, *Scientific Reports*, 2017.
- [32] M. E. Iñiguez, J. A. Conesa ve A. Fullana, “Microplastics in Spanish Table Salt”, *Scientific Reports*, vol. 7, pp. 8620, 2017.
- [33] L. M. Hernandez , N. Yousefi ve N. Tufenkji , “Are There Nanoplastics in Your Personal Care Products?”, *Environmental Science & Technology Letters*, vol. 4, no. 7, pp. 280-285, 2017.
- [34] E. A. Sykes , Q. Dai , K. M. Tsoi , D. M. Hwang ve W. W. Chan, “Nanoparticle exposure in animals can be visualized in the skin and analysed via skin biopsy”, *Nature Communications*, vol. 5, no. 3796, 2014.
- [35] M. Revel, A. Châtel ve C. Mouneyrac, “Micro(nano)plastics: A threat to human health?”, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, vol. 1, pp. 17-23, 2018.
- [36] R. Dris, J. Gasperi, M. Saad, C. Mirande ve B. Tassin, “Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment?”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 104, no. 1-2, pp. 290-293, 2016.
- [37] A. A. Horton , A. Walton , D. J. Spurgeon , E. Lahive ve C. Svendsen , “Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities”, *Science of The Total Environment*, vol. 586, pp. 127-141, 2017.
- [38] L. Lu, . T. Luo, . Y. Zhao, C. Cai, Z. Fu ve . Y. Jin, “Interaction between microplastics and microorganism as well as gut microbiota: A consideration on environmental animal and human health”, *Science of the Total Environment*, vol. 667, pp. 94-100, 2019.
- [39] S. Sharma ve S. Chatterjee, “Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review”, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 27, p. 21530–21547, 2017.
- [40] Y. Deng, Y. Zhang, B. Lemos ve H. Ren, “Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure”, *Scientific Reports*, 2017.
- [41] A. Nel, “Toxic Potential of Materials at the Nanolevel”, *Science*, vol. 311, no. 5761, pp. 622-627, 2007.
- [42] M. Smith, D. C. Love, C. M. Rochman ve R. A. Neff, “Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health”, *Food, Health, and the Environment* , vol. 5, no. 3, pp. 375-

386, 2018.

- [43] S. L. Wright ve F. J. Kelly, “Plastic and human health: a micro issue?”, *Environment Science Technology*, vol. 51, no. 12, p. 6634e6647, 2017.
- [44] J. L. Pauly, S. J. Stegmeier, H. A. Allaart, R. T. Cheney, P. J. Zhang ve A. G. Mayer, “Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue”, *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, vol. 7, no. 5, pp. 419-428, 1998.
- [45] R. Dris, J. Gasperi, V. Rocher, M. Saad, N. Renault ve B. Tassin, “Microplastic contamination in an urban area: a case study in Greater Paris”, *Environmental Chemistry*, vol. 12, pp. 592-599, 2015.
- [46] J. Gasperi, R. Dris, C. Mirande-Bret, C. Mandin, V. Langlois ve B. Tassin, “First overview of microplastics in indoor and outdoor air” , *15th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment* , Leipzig, Germany, 2015.
- [47] J. C. Prata, “Airborne microplastics: Consequences to human health?”, *Environmental Pollution*, vol. 234, pp. 115-126, 2018.
- [48] C. Chang, “The immune effects of naturally occurring and synthetic nanoparticles”, *Journal of Autoimmunity*, vol. 34, no. 3, pp. 234-246, 2010.
- [49] P. A. Borm, “Particle Toxicology: From Coal Mining To Nanotechnology”, *Inhalation Toxicology* , vol. 14, no. 3, pp. 311-324, 2002.
- [50] A. D. Vethaak ve H. A. Leslie, “Plastic Debris Is a Human Health Issue”, *Environmental Science & Technology*, vol. 50, no. 13, pp. 6825-6826, 2016.
- [51] J. P. Harrison, M. Sapp, M. Schratzberger ve A. M. Osborn, “Interactions Between Microorganisms and Marine Microplastics: A Call for Research”, *Marine Technology Society*, vol. 45, pp. 12-20, 2011.
- [52] A. McCormick, T. J. Hoellein, S. A. Mason, J. Schlupe ve J. J. Kelly, “Microplastic is an Abundant and Distinct Microbial Habitat in an Urban River”, *Environmental Science & Technology*, vol. 48, pp. 11863-11871, 2014.
- [53] Y. X. Jin, J. Z. Xia, Z. H. Pan, J. J. Yang, W. C. Wang ve Z. W. Fu, “Polystyrene microplastics induce microbiota dysbiosis and inflammation in the gut of adult zebrafish”, *Environmental Pollution*, vol. 235, p. 322–329., 2018.
- [54] L. Lu, Z. Q. Wan, T. Luo, Z. W. Fu ve Y. X. Jin, “Polystyrene microplastics induce gut microbiota dysbiosis and hepatic lipid metabolism disorder in mice”, *Science of The Total Environment*, vol. 1, no.631-632, pp. 449-458, 2018.
- [55] Y. Jin , L. Lua, W. Tu , T. Luo ve Z. Fua, “Impacts of polystyrene microplastic on the gut barrier, microbiota and metabolism of mice”, *Science of the Total Environment*, vol. 649, pp. 308-317, 2019.

- [56] A. L. Andrady, “The plastic in microplastics: A review”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 119, no. 1, pp. 12-22, 2017.
- [57] A. A. Koelmans, M. Kooi, K. L. Law ve E. van Sebille, “All is not lost: deriving a top-down mass budget of plastic at sea”, *Environmental Research Letters*, vol. 12, p. 114028, 2017.
- [58] C. G. Avio , S. Gorbi , M. Milan, M. Benedetti , D. Fattorini , G. d’Errico , M. Pauletto , L. Bargelloni ve F. Regoli , “Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels”, *Environmental Pollution*, vol. 198, pp. 211-222, 2015.
- [59] N. Hussain, V. Jaitley ve A. T. Florence, “Recent advances in the understanding of uptake of microparticulates across the gastrointestinal lymphatics”, *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 50, no. 1-2, pp. 107-142, 2001.
- [60] S. B. Sjollema, P. Redondo-Hasselerharm, H. A. Leslie, M. S. Kraak ve A. D. Vethaak, “Do plastic particles affect microalgal photosynthesis and growth”, *Aquatic Toxicology*, vol.170, pp. 259-261, 2016.
- [61] E. Besseling, A. Wegner, E. M. Foekema ve M. J. van den Heuvel-Greve, “Effects of microplastic on fitness and PCB bioaccumulation by the lugworm *Arenicola marina*”, *Environmental Science Tecnology*, vol. 41, no. 1, pp. 593-600, 2013.
- [62] A. L. Andrady , “Microplastics in the Marine Environment”, *Marine Pollution Bulletin*, cilt 62, p. 1596–1605, 2011.
- [63] A. Churg ve M. Brauer, “Ambient atmospheric particles in the airways of human lungs”, *Ultrastruct Pathol*, vol. 26, no. 4, pp. 353-361, 2000.
- [64] C. Perrino, “Atmospheric particulate matter”, *Proc. CISB Symp*, pp. 35-43, 2010.
- [65] J. P. Desforges , M. Galbraith ve P. S. Ross, “Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean”, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 69, no. 3, pp. 320-330, 2015.
- [66] L. A. Barboza, L. R. Vieira, V. Branco, N. Figueiredo, F. Carvalho, C. Carvalho ve L. Guilhermino, “Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758)”, *Aquatic Toxicology*, vol. 195, pp. 49-57, 2018.
- [67] D. Peixotoa , C. Pinheiroa , J. Amorima, L. Oliva-Telesa, L. Guilherminoa ve M. . N. Vieiraa, “Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 219, pp. 161-168, 2019.
- [68] D. Yang, H. Shi, L. Li, J. Li, K. Jabeen ve P. Kolandhasamy, “Microplastic Pollution in Table Salts from China”, *Environmental Science & Technology*, vol. 49, p. 13622–13627, 2015.
- [69] M. Renzi ve A. Blašković, “Litter & microplastics features in table salts from marine origin: Italian versus Croatian brands”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 135, p. 62–68, 2018.

- [70] R. M. Rocha, D. F. Costa, M. L. Filho, R. M. Bezerra, D. H. Medeiros, A. A. Silva, C. N. Araújo ve L. X. Filho, “Brazilian solar saltworks - ancient uses and future possibilities”, *Aquatic Biosystems*, vol. 8, no. 8, 2012.
- [71] J. Kim, H. Lee, S. Kim ve H. Kim, “Global Pattern of Microplastics (MPs) in Commercial Food-Grade Salts: Sea Salt as an Indicator of Seawater MP Pollution”, *Environmental Science & Technology*, vol. 52, no. 21, p. 12819–12828, 2018.
- [72] R. Serrano, J. Nácher-Mestre, T. Portolés, F. Amat ve F. Hernández, “Non-target screening of organic contaminants in marine salts by gas chromatography coupled to high-resolution time-of-flight mass spectrometry”, *Talanta*, vol. 85, no. 2, pp. 877-884, 2011.
- [73] S. Rist, B. Carney Almroth, N. B. Hartmann ve T. M. Karlsson, “A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics”, *Science of The Total Environment*, vol. 626, p. 720–726, 2018.
- [74] P. Westerhoff, P. Prapaipong, E. Shock ve A. Hillaireau, “Antimony leaching from polyethylene terephthalate (PET) plastic used for bottled drinking water”, *Water Research*, vol. 42, p. 551–556, 2008.
- [75] D. Brennecke, B. Duarte, F. Paiva, I. Caçador ve J. Canning-Clode, “Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 178, pp. 189-195, 2016.
- [76] H. Bouwmeester, P. H. Hollman ve R. B. Peters, “Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology”, *Environmental Science & Technology*, vol. 49, no. 15, p. 8932–8947, 2015.
- [77] J. B. Derraik, “The pollution of the marine environment by plastic debris”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 44, p. 842–852, 2002.
- [78] Z. Wang, X. Li, H. Shi, M. Sun, T. Ding ve C. Wang, “Effects of residual plastic film on soil hydrodynamic parameters and soil structure”, *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 46, no. 140, pp. 101-106 , 2015.
- [79] L. E. Huerta, H. Gertsen, H. Gooren, P. Peters, T. Salanki, M. van der Ploeg, E. Besseling, A. A. Koelmans ve V. Geissen, “Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae)”, *Environmental Science & Technology*, vol. 50, pp. 2685-2691, 2016.
- [80] M. T. Rose, T. R. Cavagnaro, C. A. Scanlan, T. J. Rose, T. Vancov, S. Kimber, I. R. Kennedy, R. S. Kookana ve L. Van Zwieten, “Impact of Herbicides on Soil Biology and Function”, *Advances in Agronomy*, vol. 136, pp. 133-220, 2016.
- [81] X. Yang, . C. . P. Bento , H. Chen, H. Zhang, S. Xue, E. . H. Lwanga, P. Zomer, C. . J. Ritsema ve V. Geissen, “Influence of microplastic addition on glyphosate decay and soil microbial activities in Chinese loess soil”, *Environmental Pollution*, vol. 242, pp. 338-347, 2018.

- [82] C. . B. Crawford ve B. Quinn, “Microplastic Collection Techniques, Microplastic pollutants” ,*Elsevier*, pp. 179-202, 2017.
- [83] W. Wang ve J. Wang, “Investigation of microplastics in aquatic environments: An overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis”, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 108, pp. 195-202, 2018.
- [84] L. Mai, L. J. Bao, L. Shi, C. S. Wong ve E. Y. Zeng, “A review of methods for measuring microplastics in aquatic environments”, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 12, pp. 11319-11332, 2018.
- [85] M. B. Zobkov ve E. E. Esiukova, “Microplastics in a Marine Environment: Review of Methods for Sampling, Processing, and Analyzing Microplastics in Water, Bottom Sediments, and Coastal Deposits”, *Oceanology*, vol. 58, no. 1, pp. 137-143, 2018.
- [86] M.-T. Nuelle, J. H. Dekiff, D. Remy ve E. Fries, “A new analytical approach for monitoring microplastics in marine sediments”, *Environmental Pollution*, vol. 184, pp. 161-169, 2014.
- [87] L. Cauwenberghe, A. Vanreusel, J. Mees ve C. R. Janssen, “Microplastic pollution in deep-sea sediments” *Environmental Pollution*, vol. 182, pp. 495-499, 2013.
- [88] M. Löder ve G. Gerdts, “Methodology Used for the Detection and Identification of Microplastics—A Critical Appraisal”, *Marine Anthropogenic Litter*, pp. 201-227, 2015.
- [89] H. K. Imhof, J. Schmid, . R. Niessner, . N. P. Ivleva ve . C. Laforsch, “A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments”, *Limnology and oceanography, methods*, vol. 10, pp. 524-537, 2012.
- [90] S. Huppertsberg ve T. P. Knepper, “Instrumental analysis of microplastics-benefits and challenges”, *Anal Bioanal Chem*, vol. 25, pp. 6343-6352, 2018.
- [91] M. Claessens, L. Van Cauwenberghe, M. B. Vandegheuchte ve C. R. Janssen, “New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 70, pp. 227-233, 2013.
- [92] E. M. Foekema , C. De Gruijter , M. T. Mergia, J. A. van Franeker, A. J. Murk ve A. A. Koelmans , “Plastic in north sea fish”, *Environmental Science & Technology*, vol. 47, no. 15, pp. 8818-8824, 2013.
- [93] C. M. Rochman , A. Tahir , S. L. Williams SL, D. V. Baxa, R. Lam , J. T. Miller, F. C. Teh , S. Werorilangi ve S. J. Teh, “Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption.”, *Scientific Reports*, vol. 5, p. 14330, 2015.
- [94] F. Collard , B. Gilbert , P. Compère , G. Eppe, K. Das, T. Jauniaux ve E. Parmentier , “Microplastics in livers of European anchovies (*Engraulis encrasicolus*, L.)”, *Environmental Pollution*, vol. 229, pp. 1000-1005, 2017.

- [95] F. Gusmão , M. D. Domenico , A. Z. Amaral , A. Martínez , B. C. Gonzalez, K. Worsaae , J. A. Ivar do Sul ve P. D. Cunha Lana , “In situ ingestion of microfibrés by meiofauna from sandy beaches”, *Environmental Pollution*, vol. 216, pp. 584-590, 2016.
- [96] J. S. Hanvey, . P. J. Lewis, J. L. Lavers, . N. D. Crosbie, K. Pozode ve . B. O. Clarke, “A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments”, *Analytical Methods*, vol. 9, p. 1369, 2017.
- [97] W. Wang, A. W. Ndungu , Z. Li ve J. Wang , “Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China.”, *Science of the Total Environment*, vol. 575, pp. 1369-1374, 2017.
- [98] Y. . K. Song, S. . H. Hong, M. Jang, G. . M. Han, M. Rania, J. Lee ve W. . J. Shim, “A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples”, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 93, no. 1-2, pp. 202-209, 2015.
- [99] K. Zhang, J. Su, X. Xiong, X. Wu, C. Wu ve J. Liu, “Microplastic pollution of lakeshore sediments from remote lakes in Tibet plateau, China”, *Environmental Pollution*, vol. 219, pp. 450-455, 2016.
- [100] E. Fries, J. H. Dekiff, J. Willmeyer, M.-T. Nuelle, . M. Ebert ve D. Remy, “Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy”, *Environmental Science: Processes & Impacts*, vol. 10, pp. 1946-1956, 2013.
- [101] W. . J. Shim , S. . H. Hongab ve S. . E. Eo, “Identification methods in microplastic analysis: a review”, *Analytical Methods*, vol. 9, pp. 1384-1391, 2017.
- [102] A. S. Tagg, M. Sapp, J. P. Harrison ve J. J. Ojeda, “Identification and Quantification of Microplastics in Wastewater Using Focal Plane Array-Based Reflectance Micro-FT-IR Imaging”, *Analytical Chemistry*, vol. 87, no. 12, pp. 6032-6040, 2015.
- [103] A. M. Elert, R. Becker, E. Duemichen, P. Eisentraut, J. Falkenhagen, H. Sturm ve U. Braun, “Comparison of different methods for MP detection: What can we learn from them, and why asking the right question before measurements matters?”, *Environmental Pollution*, vol. 231, pp. 1256-1264, 2017.
- [104] C. F. Araujo, M. M. Nolasco, A. M. Ribeiro ve P. J. Ribeiro-Claro, “Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects”, *Water Research*, vol. 142, pp. 426-440, 2018.
- [105] A. K appler, D. Fischer, S. Oberbeckmann, G. Schernewski, M. Labrenz, K.-J. Eichhorn ve B. Voit, “Analysis of environmental microplastics by vibrational microspectroscopy: FTIR, Raman or both?”, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, vol. 408, no. 29, p. 8377–8391, 2016.
- [106] A. Kappler, M. Fischer, B. M. Scholz-Bottcher, S. Oberbeckmann, M. Labrenz, D. Fischer, K. J. Eichhorn ve B. Voit, “Comparison of μ -ATR-FTIR spectroscopy and py-GCMS as

identification tools for microplastic particles and fibers isolated from river sediments”, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, vol. 410, no. 21, p. 5313–5327, 2018.

- [107] E. Dumichen, P. Eisentraut, C. G. Bannick, A. K. Barthel, R. Senz ve U. Braun, “Fast identification of microplastics in complex environmental samples by a thermal degradation method”, *Chemosphere*, vol. 174, pp. 572-584, 2017.
- [108] J. H. Dekiff, D. Remy, J. Klasmeier ve E. Fries, “Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney”, *Environmental Pollution*, vol.186, pp. 248-256, 2014.
- [109] J. Gabrys, G. Hawkins ve M. Michael, “The Material Politics of Plastic”, UK: Routledge, 2013.
- [110] O. Setälä , V. Fleming-Lehtinen ve M. Lehtiniemi , “Ingestion and Transfer of Microplastics in the Planktonic Food Web”, *Environmental Pollution*, vol. 185, pp. 77-78, 2014.