





## Mikroplastikler ve Gıda Güvenliği

Orhan Atakan<sup>1</sup> , Muhammed Yüceer<sup>2</sup> , Cengiz Caner<sup>3</sup>  <sup>1</sup>Tarım ve Orman Bakanlığı, Çanakkale Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, Çanakkale<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Gıda İşleme Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale<sup>3</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale

Geliş Tarihi (Received): 28.08.2020, Kabul Tarihi (Accepted): 14.12.2021

✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): ccaner@comu.edu.tr (C. Caner)

☎ 0 286 218 0018 📠 0 286 218 0541

### ÖZ

Mikroplastik (MP) birikimi çevre ve insan sağlığı bakımından önemini korumaktadır. Plastiklerin küçük parçacıklara (<5 mm çap) ayrılmasıyla insan ve hayvan sağlığı ile ekosistem üzerinde yol açtığı sonuçların araştırılması gerekmektedir. Çevreye verdiği zararın yanı sıra hem insan hem de hayvan sağlığı açısından potansiyel bir risk unsuru olan mikroplastiklerin gıda maddelerinde ne kadar bulunduğu konusunda detaylı veriler bulunmamaktadır. Gerek üretim aşamalarında kullanılan katkı maddeleri gerekse de bozunma ürünlerinin toksisitesi sebebiyle mikroplastikler sağlık açısından önemli bir risk oluşturmaktadırlar. Bu çalışmada, tüm tüketicileri yakından ilgilendiren gıda maddelerindeki mikroplastik miktarını belirlemek için son yıllarda yapılan MP'ler ile ilgili araştırmalar derlenmiştir. Gıda ekosistemi açısından özellikle deniz ürünlerinde (özellikle midye ve karides) ve deniz tuzunda MP birikimi tespit edilmiştir. Bu durum yaygın olarak bildirilmiş bir çevresel konu olmakla birlikte gıda endüstrisindeki etkisi üzerine yapılan çalışmalar henüz yeterli sayıda değildir.

**Anahtar Kelimeler:** Plastik, Mikroplastik, Gıda güvenliği, Risk değerlendirmesi

## Microplastics and Food Safety

### ABSTRACT

Microplastic (MP) accumulation maintains its importance in terms of environmental and human health. As plastics breakdown into tiny particles (<5 mm diameter), the consequences on human and animal health and ecosystem need to be further studied. In addition to its damage to environment, we do not have much data on how much MPs are present in food stuffs, which is a potential risk for both animal and human health. Microplastics pose a significant health risk due to both the additives used in the production stages and the toxicity of decomposition products. In this article, studies on MPs have been compiled in recent years to determine the amount of microplastics in food stuffs that are closely related to all consumers. In terms of the food ecosystem, MP accumulation has been detected especially in seafood (especially mussels and shrimp) and sea salt. It is a widely reported environmental issue, but its impact on food industry has been somewhat under-reported.

**Keywords:** Plastic, Microplastics, Food safety, Risk assessment

### GİRİŞ

1950 yılında hayatımıza giren plastiğin üretimi ve tüketimi katlanarak artmaktadır. 1950 yılında 1,5 milyon ton plastik üretilirken bu miktar 2017 yılı itibarıyla 348

milyon tona ulaşmıştır [1]. Bu üretim miktarının 2025 yılına kadar iki katına çıkacağı 2050 yılında ise üç kattan fazla artarak 1 milyar tona ulaşacağı ön görülmektedir. Tüketicimin bu kadar yüksek olması atık yönetimi sorununu da beraberinde getirmektedir. Sadece 2010

yılı içerisinde 4.8–12.7 milyon ton plastik atığın okyanuslara atıldığı ve okyanuslarda yüzen plastik miktarının 280 bin tondan fazla olduğu tahmin edilmektedir. Birçok plastik çok yavaş bozunmaktadır. Çok sayıda plastik atık, bertaraf edilmesiyle ilgili katı düzenlemelerin olmaması nedeniyle sucul ve karasal ortamlarda ciddi kirliliğe neden olmaktadır [2, 3]. Ancak ultraviyole (UV) ışığa ve sürekli aşınmaya maruz kaldığında ise bu süreç önemli ölçüde hızlanmaktadır. Plastik atıklar, "mikroplastik" adı verilen küçük parçalara ayrıldıklarında (boyut < 5 mm) daha da büyük tehlikeler oluştururlar.

Son yıllarda üzerinde en çok durulan konularından biri de mikroplastiklerdir. Mikroplastığın uluslararası alanda kabul görmüş net bir tanımı yoktur. Mikroplastikler değişen boyut ve kimyasal bileşime sahip parçacıkları içerir. 2008 yılında Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA) tarafından genel olarak MP denildiğinde organizmalar için zararlı olabilecek boyutu 5 mm'den küçük plastik parçacıkları ifade edilmektedir. Mikroplastik kontaminasyonun ana sebepleri olarak plastik atıkların yavaş yavaş parçalanarak çevreye dağılmasını ve güzellik ürünlerinde eksfoliyon olarak mikro boncukların kullanılmasını gıda ambalajları ve içecek şişelerini, sentetik tekstil ürünlerini, araç lastiklerini, boyaları, kişisel bakım ürünlerini ve elektronik ekipmanlarının yaygın ve gelişigüzel kullanımını söylemek mümkündür. Küçük boyutları nedeniyle bu kirleticiler su filtrasyon sistemlerinden geçebilir ve ciddi çevresel ve gıda güvenliği endişelerine

neden olabilirler. Gıda ambalajları ve içecek şişeleri, sentetik tekstil ürünleri, araç lastikleri, boyalar, kişisel bakım ürünleri ve elektronik ekipmanların yaygın ve gelişigüzel kullanımı, çevrenin ve gıda zincirinin MP kontaminasyonuna ana katkıda bulunanlardan biridir [4]. Plastikler kolayca parçalanmazlar. Plastikler, fotodegradasyon sürecinde güneşten gelen ultraviyole (UV) radyasyon parçalanır, büyük bir plastik birimi zamanla daha küçük ve daha küçük parçalara ayrılarak plastiğin kimyasal yapısını bozulur (Tablo 1). Bu ürünlerin bozunması uzun bir zaman, muhtemelen yüzlerce yıl alacaktır. Bozunmasının ne kadar süreceğini belirlemek, polimer türü, boyutu, kalınlığı ve çevresel koşullar (örneğin, güneş ışığına maruz kalma miktarı veya konum – kara veya suda) gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Plastikler daha küçük parçalara ayrıldıkça "mikroplastikler" olarak bilinen küçük plastik parçaları (yani uzunluğu 5 mm'den az) üretirler [5].

Mikroplastikler birincil ve ikincil MP'ler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. MP'ler doğrudan insan aktivitesinden (birincil MP'ler) veya daha büyük plastik nesnelere (ikincil MP'ler) mekanik, biyodegradasyon ve fotodegradasyon ile parçalanabilen lifler, fragmanlar, sferoidler, boncuklar, granüller, pelletler veya pullar olarak bulunabilir. Birincil mikroplastikler özellikle mikro boyutta üretilmiş plastikleri kapsarken ikincil mikroplastikler ise daha büyük boyutta üretilen plastiklerin zaman içerisinde kırılması, parçalanması sonucu meydana gelen parçaları ifade etmektedir [5].

Tablo 1. Çeşitli polimer yoğunluk değerleri ve doğada bozunma süreleri [6, 7]

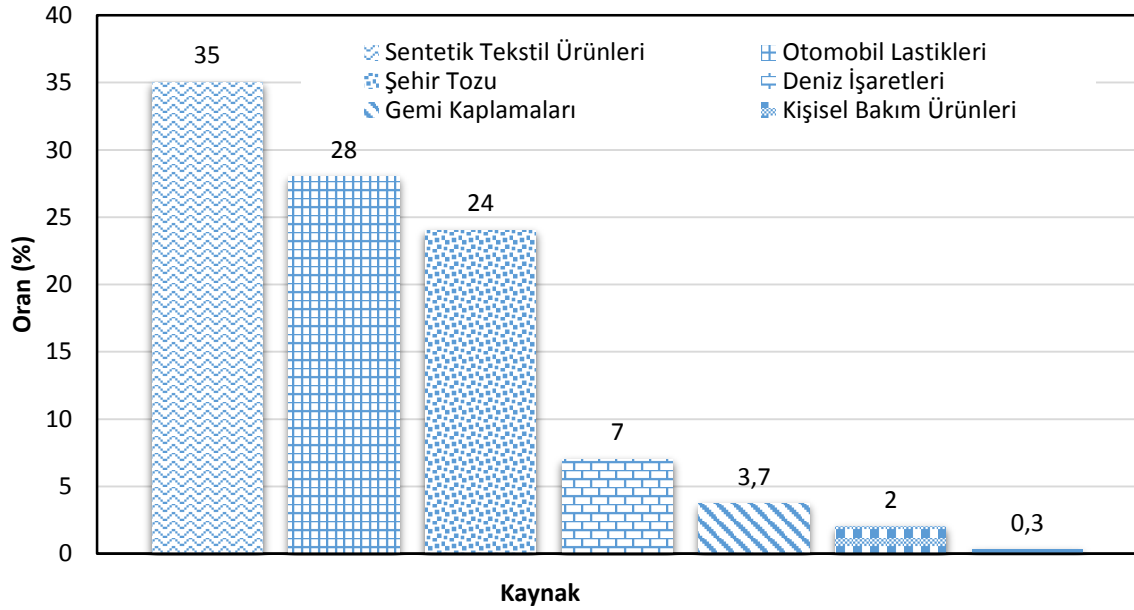
Polimer	Polimer yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	Doğada Bozunma Süresi (yıl)
Polipropilen (PP)	0.90-0.91	10-600
Polietilen (PE)	0.965-0.971	10-600
Poliamid (nylon)(PA)	1.02-1.05	
Polistiren (PS)	1.04-1.1	50-80
Polivinil klorür (PVC)	1.16-1.58	50-100+
Polyester	1.23-2.3	
Polietilen teraftalat (PET)	1.37-1.45	~450

Birincil mikroplastikler çoğunlukla kozmetik sektöründe kullanılır. Mikroküre veya pellet şeklinde üretilirler ve genel olarak diş macunu ve kremler gibi kişisel temizlik ürünlerinin içerisinde bulunur. İkincil mikroplastikler ise okyanuslarda yüzen plastik yığınlarının çeşitli sebeplerle (uzun süre ultraviyole ışınlarla maruz kalma, mikroorganizmalar, deniz canlılarının etkisi vb.) fiziki olarak daha küçük parçalara parçalanması ve ayrışmasından kaynaklanır. İkincil MP'ler birincil MP'lere göre doğada daha fazla bulunur [8]. Araçların lastiklerinden kopan mikroplastikler okyanuslardaki plastik atık birikintilerinin asıl sebebinin oluşturmaktadır (Şekil 1). Deniz ve okyanuslarda bulunan MP'lerin %69-81 oranında ikincil mikroplastikler olduğu bildirilmiştir [9].

Mikroplastikler çevresel kirleticiler ve üretim süreçleri sırasında eklenen diğer kimyasallar için araç veya

taşıyıcı görevi görebilir. Stiren, toksik metaller, ftalatlar, bisfenol A, poliklorlu bifeniller ve polisiklik aromatik hidrokarbonlar gibi kimyasallar mikroplastiklerin yüzeyinde emilebilir ve "substrat" olarak işlev görebilir. Bu kirleticiler ve katkı maddeleri yutulan MP'lerden hayvan dokularına aktarılabilir ve temel vücut fonksiyonlarının bozulmasına neden olabilir [4].

Mikroplastikler genellikle 0.1-5000 µm arasında tanımlanırken, 0.001 µm ile 0.1 µm arasındaki boyutlarda yer alan MP'lere 'nanoplastik' ismi verilmektedir. Gıdalarda nanoplastik varlığı hakkında literatürde çok fazla veri bulunmamaktadır. Bu maddelerin tespit edilebilmesi amacıyla analitik metotların geliştirilmesi hala devam etmektedir [2].



Şekil 1. Okyanuslardaki mikroplastiklerin kaynakları (%) [10]

Figure 1. Sources of microplastics in the oceans (%) [10]

Günümüzde tüm okyanuslarda, nehirlerde, göllerde, atık sularında, içme sularında ve çeşitli gıda maddelerinde ve hatta yağmur suyunda dahi mikroplastiklerin varlığı tespit edilmiştir. Mikroplastikler denize karıştıktan sonra genel olarak çok hafif oldukları ve suda batmadıkları için çok uzak noktalara kadar gidebilmektedir. Arktik ve Antarktika'da bulunan buzulların içerisinde dahi mikroplastiklere rastlanmıştır. Bu kadar geniş bir alanda yayılmalarında rüzgârların da etkisi bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda mikroplastiklerin atmosferde bulunabildiği bunun yanı sıra kapalı alan ve açık alanlarda havada mikroplastiklerin bulunduğu görülmüştür. Mikroplastikler birçok şekil, boyut ve kimyasal bileşimde yayılmışlardır [11, 12].

Çeşitli plastik türlerinin ortamdaki MP'lere nasıl ayrıldığı ve besin zincirine nasıl girdiği hakkında yeterince bilgi mevcut değildir. Hayvanların MP'lerle kontamine olmuş gıdaları yemesiyle mikroplastiklerin besin zincirine girdiği anlaşılmıştır. Balıklar sürekli su alımı yapmaları nedeniyle küçük plastik parçaları yutabilmektedir. Mikroplastikleri vücuduna almış olan balıkları diğer hayvanlar yediğinde mikroplastikler besin zincirinde bir üst basamağa geçebilmektedirler. Bu şekilde mikroplastikler besin zincirinin en üstüne kadar hareket edebilirler [4].

Mikroplastiklerin doğada bu kadar yaygın olmasının hem hayvan hem de insan sağlığı üzerinde olumsuz etkisinin olabileceği söz konusudur. Mikroplastikler hayvanların sindirim sistemini tıkayarak onların ölümüne ya da beslenme alışkanlıklarını değiştirmesine neden olabilirler. Bununla beraber mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki etkisi henüz tam anlamıyla aydınlatılmamıştır. Fakat akciğerlerde enflamasyona yol açması ile birincil veya ikincil genotoksik etkilerinin olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur [13]. Mikroplastiklerin önemli bir diğer etkisi de toksik kimyasallar için taşıyıcı görevi görmesidir. Ortamda

bulunan toksik kimyasallar adsorpsiyon yoluyla mikroplastığe tutunur ve daha sonra bu mikroplastığın canlılar tarafından yenmesi sonucu sindirim sisteminde desorbe olurlar. Böylece toksik maddeler canlı organizmaların sindirim sistemine girer ve buralarda birikir. Söz konusu kimyasal maddelerin pek çoğu karsinojen, mutajen ve teratojen etkiye sahip olduğundan ciddi sağlık tehdidine yol açarlar. Demir, mangan, alüminyum, kurşun, bakır, gümüş, çinko gibi ağır metaller ve hidrofobik organik kirleticiler bu maddelere örnek verilebilir. Bunlara aynı zamanda kalıcı organik kirleticiler de denilmektedir [14]. Plastik polimerlerin toksisitesi polimer türüne göre farklılık göstermektedir. Örneğin tatlı su istiridyesinde polivinil klorür (PVC) veya polistiren (PS); polietilen tereftalat (PET) veya polietilen (PE)'e göre daha fazla histolojik anormalliklere yol açmaktadır [15].

Plastik üretim sürecinde çeşitli kimyasal katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu katkı maddeleri kimyasal bağlarla polimer matrisine bağlanmadığı için kolayca dış ortama karışabilir. Bu yüzden plastik maddeler daha küçük parçalara ayrıldıkça çevreye verdiği zararın artması da olasıdır [16]. Son üründe istenen özelliklere göre üretim prosesinde polimerlere plastikleştirici, antioksidan, yanma dayanımını arttırıcılar, ultraviyole stabilizatörler, yağlayıcılar ve renklendirici maddeler katılmaktadır. Bu aşamada en çok kullanılan katkı maddeleri fitalatlar, bisfenol A, nonilfenol ve alev geciktiricilerdir [17].

Bunun yanı sıra plastik malzemelerin sahip olduğu fiziksel özellikler çeşitli mikroorganizmalar için bir yaşam alanı oluşturabilmektedir. Plastik yüzeyde oluşan biyofilmler bir vektör görevi görebilir ve patojen mikroorganizmalar, fekal indikatör mikroorganizmalar ve alglerin çoğalmasına yardımcı olabilir. Mikroplastikleri kolonize eden potansiyel zararlı mikroorganizmaların varlığıyla ilgili çalışmalar literatürde mevcuttur [18].

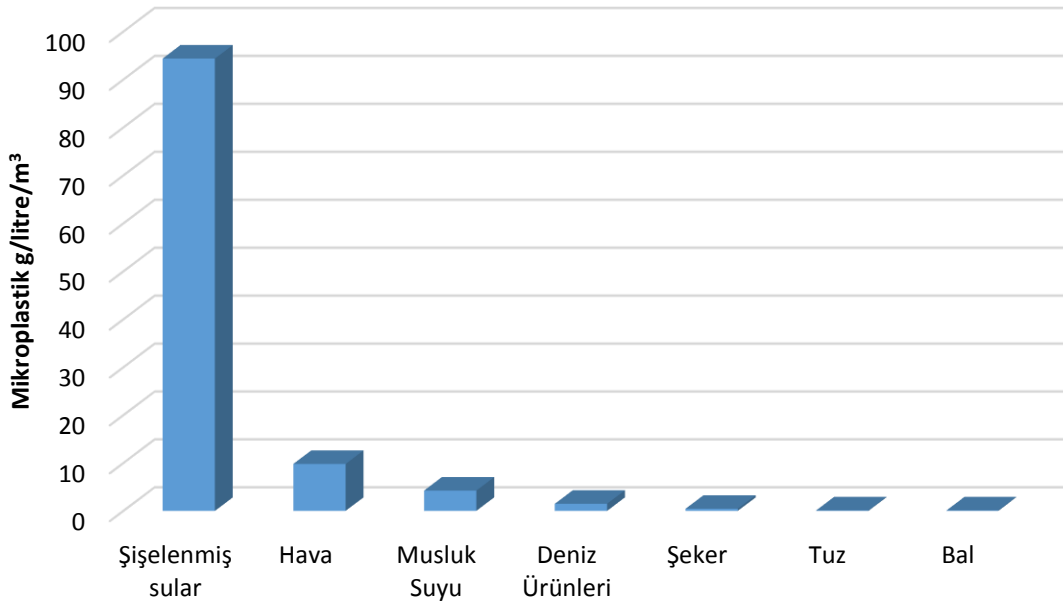
Mikroplastikler doğada bu kadar yaygın bulunmalarına ve günümüzün en popüler konularından biri kabul edilmekte ancak belirsizlik, değişkenlik ve vücutta birikimi konusu çözülememiştir. Ayrıca insan sağlığı üzerine olan etkileri ile ilgili çok fazla araştırma yapılmamıştır [19]. Mevcut çalışmalar, hücreleri veya insan dokularını MP'lere maruz bırakan veya fare veya sıçan gibi hayvanları kullanan laboratuvar deneylerine dayanmaktadır. Büyük oranda MP'le beslenen farelerin ince bağırsaklarında iltihaplanma görülmüştür. Mikroplastiklere maruz kalan farelerin sperm sayılarının kontrol grubuna göre daha düşük olduğu ayrıca bu gruptaki farelerin daha az sayıda yavru olduğu ve yavrularının ağırlıklarının kontrol grubuna kıyasla daha düşük olduğu bildirilmiştir. İnsan hücreleri veya dokuları üzerindeki in vitro çalışmaların bazıları da toksisite olduğunu göstermektedir. Önemli bir soru ise, mikroplastiklerin insan vücudunda kalabileceği ve potansiyel olarak bazı dokularda birikip birikmeyeceğidir. Farelerde yapılan çalışmalar, yaklaşık 5 mikrometre çapında mikroplastiklerin bağırsaklarda kalabileceğini veya karaciğere ulaşabileceğini göstermiştir. Parçacıkların hücrelerin içine girebilmesi için birkaç yüz nanometreden daha küçük olması gerekir [20].

Mikroplastiklere maruz kalma miktarıyla ilgili Amerika Birleşik Devletleri'nde bir tahminleme çalışması yapılmıştır [21]. Buna göre yıllık mikroplastik tüketiminin yaşa ve cinsiyete bağlı olarak 39000 ila 52000 parçacık arasında olduğunu tahmin edilmiştir. Hava yoluyla vücudumuza alıyor olabileceğimiz parçacıklar da dahil edildiğinde bu sayı 121000'e ulaşmaktadır.

Araştırmacılar bu tahminleme modelinde kişilerin musluk suyu yerine şişelenmiş su tüketmeleri durumunda bu sayıya 9000 parçacığın daha ilave edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada [22], kişi başına düşen MP alımının 37-1000'i deniz tuzundan, 4000'i musluk suyundan ve 11.000'i kabuklu deniz ürünlerinden olmak üzere 39.000-52.000 parçacık olduğu tahmin edilmiştir. Benzer bir çalışmada [23] dokuz gıda maddesi üzerinden (balık, yumuşakça, kabuklu deniz hayvanları, musluk suyu, şişelenmiş su, tuz, bira ve süt) bir kişinin ömrü boyunca ne kadar mikroplastiğe maruz kalacağı ön görülmeye çalışılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu kişi başına günlük 583 nanogram (ng) mikroplastiğe maruz kaldığı tahmin edilmiştir. Bu sayı çocuklar için 184 ng olarak bulunmuştur.

Gıda ürünlerinin MP kontaminasyonu ve insan gıda güvenliği üzerindeki etkilerinin çalışılması yeni ortaya çıkan bir alandır ve gri bir alandır. Mikroplastiklerin insan vücuduna yutulması ile ilişkili risk, tehlike ve maruz kalmanın bir fonksiyonudur.

Mikroplastiklerden gelen risklerin değerlendirilmesi için tehlike (olumsuz etkilere neden olma potansiyeli), maruz kalma seviyeleri (insan gıdalarında tespit edilen miktarlar) ve etkileri (eşik seviyelerinin tanımlanması) hakkında bilgiler gerektirir. Deniz ürünlerinde, içme sularında, tuzda, balda ve çeşitli gıda ürünlerindeki mikroplastiklerin konsantrasyonu üzerine de çalışmalar yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çeşitli ürünlerde gram, litre, metreküp başına düşen mikroplastik miktarı [24]  
Figure 2. Microplastic amount per gram, liter, cubic meter in various products [24]

## İÇME SULARINDA MİKROPLASTİK

Mikroplastiklerin doğada yayılma yollarını tespit edebilmek kolay değildir. Dolayısıyla tatlı sulara ne şekilde bulaştığı hakkında çok az bilgi mevcuttur.

Bulaşma yollarını bilebilmek için öncelikle mikroplastığın özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Tüketiciler tarafından kullanılan plastik maddelerin yoğunluğu 0.85 ile 1.41 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Tatlı suyun yoğunluğunun 1 g/cm<sup>3</sup> olduğu düşünülürse

mikroplastiklerin bir kısmı suda batarken bir kısmı suda yüzer. En çok kullanılan plastik çeşitlerinin yoğunluk değerleri ve doğada bozunma süreleri Tablo 1'de gösterilmiştir [25].

İçme sularının arıtılması aşamasında su kaynaklı partiküllerle birlikte muhtemelen MP'ler de uzaklaştırılmaktadır. Fakat bu sistemlerde de çeşitli plastik parçalar kullanıldığı için zamanla bunların aşınması sonucu sulara mikroplastik geçişi olabilmektedir. Bununla beraber plastik şişelerde satılan sularda MP varlığı çok daha fazla olabilmektedir. Nitekim 2018 yılında yapılan bir çalışmada şişe sularda da MP kalıntılarına rastlanılmıştır. 11 farklı tek kullanımlık PET şişe sularda litre başına ortalama 14 parça tespit edilmiştir. Çok kullanımlık plastik şişelerde bu sayının litre başına 118 parçaya kadar çıktığı gözlemlenmiştir. En yüksek oran 50 parça/litre ile cam

şişelerde bulunmasına rağmen diğer şişelere kıyasla istatistiki olarak önemli bir farkın bulunmadığı görülmüştür [26]. Bir başka çalışmada 32 şişelenmiş maden suyu numunesi MP'ler, pigment ve katkı partikülleri ile kontaminasyon açısından araştırılmıştır. Plastik parçacıkların %95'inden fazlası 5µm'den daha küçük ve yaklaşık %50'si de 1.5µm'den daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Cam şişelerde daha büyük partiküller (~%15 > 5µm ve ≤10µm ve ~7% > 10µm) saptanmıştır. Cam şişede litre başına 3074-6292; tek kullanımlık PET şişelerde 2649; çok kullanımlık PET şişelerde ise 4889 parça bulunmuştur. PET şişelerde muhafaza edilen elde edilen suda, MP'lerin çoğu polietilen teraftalat PET iken cam şişelerdeki sularda polietilen (PE) (%46), polipropilen (PP) (%23) ve stiren-bütadien-kopolimer (%14) baskın polimer tipleridir (Tablo 2) [27].

Tablo 2. Şişe türlerine göre tespit edilen mikroplastiklerin polimer tipi dağılımı [27]

Polimer oranı (%)	Tek Kullanımlık Pet (%)	Çok Kullanımlık PET (%)	Cam (%)
PET	78	74	3.6
PET+olefin	11	7.7	-
PE	0.7	5.4	46
PP	10	10	23
Stiren-Butadien Kopolimer	-	-	14
diğer	1.0	2.6	13

Aynı çalışmada depozitolu şişelerde tespit edilen mikroplastik miktarı tek kullanımlık şişelerden 8 kat, karton kutudaki içeceklerden ise yaklaşık 10 kat daha yüksek bulunmuştur. Gazlı içeceğin bulunduğu şişelerde MP miktarı gazsız içeceklerin olduğu şişelere göre daha yüksek seviyelerde bulunmuştur. Bunun sebebinin gazlı içeceklerdeki yüksek basıncın plastik maddelerde strese yol açması ve plastik yüzeyinden parçacıkların kopmasına sebep olmasının olduğu düşünülmektedir. Karton ambalajlarda satışa sunulan içeceklerde tespit edilen polimerler içerisindeki baskın polimerin polietilen olması aynı zamanda selülozun tespit edilmesi söz konusu kontaminasyon ambalajdan kaynaklandığı düşüncesine yol açmıştır. Karton ambalajların iç ve dış yüzeyinde polietilen (PE) kaplama ve selüloz materyal kullanılmaktadır [26].

Cam şişelerde mikroplastik seviyesinin bu kadar yüksek olmasının sebebinin zaman içerisinde kapak kısmında meydana gelen aşınma sebebiyle olduğu düşünülmektedir. Tespit edilen polimer türü de bu hipotezi destekler niteliktedir [27].

Mikroplastikler tatlı sularda 0-10<sup>3</sup> partikül/L arasında değişen partikül sayımları bildirilmiştir. Tespit edilen mikroplastiklerin bağlı konsantrasyonu, konuma, örnekleme tekniğine (filtre boyutu) ve analiz yöntemine bağlıdır. Rapor edilen MP konsantrasyonları, kullanılan filtrelere bağlı olarak ortalama 0,00026-4,7 partikül/L aralığındadır. Boyut, şekil ve polimer türü, toksisitesi, ve içme suyu arıtımının etkinliği MP'leri etkileyebilecek özellikleridir [28].

Şişe sularda MP varlığının en büyük nedeni kapak ve açma kapama sırasında sürtünme nedeniyle kapak materyalinde meydana gelen aşınma, yırtılma gibi fiziksel deformasyonlardır. 2019 yılında yapılan çalışma mekanik stresin HDPE kapak ve PET şişede MP varlığını doğrudan etkilediğini göstermiştir. 3 farklı markanın şişe sularında yapılan çalışmada şişe kapağının iç yüzeyinde mm<sup>2</sup> başına düşen MP miktarı A markasında 120; B markasında 2150; C markasında 373 olarak ölçülmüştür. B markasında tespit edilen bu yüksek düzeyin temel sebebinin kapak sisteminin tasarımındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Gıda kullanımında genel olarak güvenli kabul edilen PET ve HDPE ambalajların kullanım sıklığına bağlı olarak değişmekle birlikte MP salımı konusunda bazı yetersizlikleri bulunmaktadır. Markalara bağlı olarak şişe ağzı ve kapaktan suya MP geçişinde çok fazla farklılığın olması gıdyla temas eden madde ve malzemelerin tanımlanması ve değerlendirilmesinde yeni düzenlemelerin yapılmasını gerekli kılmaktadır [29].

## TUZDA MİKROPLASTİK

Tuz insanlar tarafından doğrudan tüketilmesinin yanı sıra çeşitli gıda maddelerine koruyucu olarak da katılmaktadır. Bunun yanı sıra çeşitli kozmetik ve kişisel bakım ürünlerinde de kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda dünya genelinde farklı bölgelerde tüketilen deniz tuzlarında mikroplastik tespit edilmiştir. En yüksek değer kg başına 13500-19800 parça ile Hırvatistan'da üretilen tuzlarda bulunmuştur [30].

Bu konuda ülkemizde yapılan bir çalışmada deniz, kaya ve göllerden elde edilen tuzlardaki MP oranı araştırılmıştır. Çalışılan 5 farklı tuz markasında da MP tespit edilirken en yüksek kirlilik kilogram başına 46 parça ile deniz tuzunda tespit edilmiştir. Kaya tuzundaki oranların nispeten daha düşük olduğu ve bunun sebebinin de kaya tuzuna mikroplastığın tek bulaşma kaynağının işleme aşaması olduğu bildirilmiştir[31].

Yapılan başka bir çalışmada [32] ise altı kıtada 16 ülke/bölgeden coğrafi olarak farklı alanlarda üretilen toplam 39 farklı tuz markası araştırılmıştır. Deniz, göl ve kaya tuzlarında yapılan çalışmada tuzlarda en çok rastlanan polimerlerin PE, PP ve PET olduğu görülmüştür. Deniz tuzlarında tespit edilen mikroplastiklerin %35 PE, %30 PP, %30 PET; göl tuzlarında %47 PET, %28 PE, %11 Teflon, %10 PET; kaya tuzlarında ise %41 PET, %26 PE, %23 PP'den oluştuğu tespit edilmiştir. Mikroplastik miktarı deniz tuzlarında 13-629 adet/kg arasında değişmektedir. Kaya tuzunda bu miktar 0-148 adet/kg olurken göl tuzunda ise 28-462 adet/kg olarak bulunmuştur. Çalışmada Asya kıtasında üretilen tuzların mikroplastik kirliliğinin diğer kıta ürünlerine göre yüksek olduğu, en yüksek MP kirliliği tespit edilen 10 markanın 9'unun Asya kıtasına ait olduğu görülmüştür. Asya kökenli tuzlarla diğerleri arasındaki fark önemli bulunmuş fakat kaya tuzlarında böyle bir farklılıkla karşılaşmamıştır. Tuz üretim aşamalarında rafinasyon prosesinin MP varlığını azaltabileceği belirtilmiştir.

2021 yılında Afrika'da 8 farklı ülkede satışa sunulan 23 farklı tuz markası mikroskobik/spektroskopik tekniklerle incelenmiştir [33]. Çalışmada tuz örneklerinde kg başına  $0.67 \pm 1.15$  adet ile  $3.42 \pm 4.94$  adet arasında MP tespit edilmiştir. Polimerler türlerine göre incelendiğinde polivil asetat, polipropilen ve polietilenin baskın olduğu görülmüştür. Bu bilgi MP kontaminasyonunun tuz paketlerinden kaynaklanmadığını, muhtemelen ya tuz üretimi sırasındaki kontaminasyondan ya da deniz kirliliğinden kaynaklandığını göstermektedir.

## DENİZ ÜRÜNLERİNDE MİKROPLASTİK

Mikroplastikler fiziksel özellikleri sebebiyle hem su yüzeyinde asılı kalabildiği hem de suya batabildiği için ve çok daha küçük parçalara ayrılabilirdiği için denizler ve okyanuslarda her tarafa yayılmış durumdadır. Kıyılarda, açık denizlerde, kutuplarda, denizdeki çökeltilerin içerisinde olmak üzere her yerde MP bulunmaktadır. Bu nedenle su ekosisteminde varlığını sürdüren her tür canlı değişen oranlarda MP kirliliğine maruz kalmaktadır. Çok yaygın olmasının yanı sıra görünüş ve boyut olarak planktonlara benzediği için pek çok sucul canlı tarafından yenilmektedir [34].

Plastik mikropartiküller esas olarak hayvanların gastrointestinal kanalında birikir. Uygun bir şekilde tüketilmeden önce balığın sudan arındırılması MP'lere doğrudan maruz kalmayı en aza indiren yaygın bir uygulamadır. Mikroplastikler sucul organizmaların bağırsaklarında biriktiği ve de bağırsakların tüketim öncesi çıkarıldığı için insan sağlığı üzerinde doğrudan etkisinin olmayacağı bildirilmiştir. Ancak çıkarılan bağırsakların hayvan yemlerine katılması sebebiyle

dolaylı yoldan da olsa insan sağlığını etkileyeceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, istisnalar arasında sardalya, hamsi, bütün olarak yenen bir dizi küçük boyutlu tatlı su balığı gibi küçük pelajik balık türleri, kabuklular (örn. Karides) ve ekinodermiler (örn. Kestaneler) bulunur. Çift kabuklular da özellikle endişe vericidir. Çünkü gastrointestinal sistem de dahil olmak üzere tüm hayvan (sindirim sistemi ile beraber) tüketilmektedir. Midyelerde en düşük mikroplastik konsantrasyon seviyesi (0.5 parçacık/g'dan az) Avrupa'da rapor edilmiştir. Buna karşılık midye içindeki en yüksek mikroplastik konsantrasyonu Çin'de 4 parçacık/g olarak gözlemlenmiştir [5, 35].

Midye çok geniş bir alana dağılmış halde yaşadığı ve çok çeşitli şartları tolere edebildiği için MP çalışmalarında indikatör olarak seçilen organizmalardan biridir. Bu konuda ülkemizde yakın zamanda yapılan bir çalışmada [36] Türkiye'nin kıyı şeridinin %76'sını kapsayacak şekilde (Karadeniz, Marmara Denizi ve Akdeniz) 23 farklı noktadan alınan midye örnekleri incelenmiştir. Toplanan 342 midye örneğinde toplamda 222 adet MP parçacığı tespit edilmiştir. Bu MP'lerin %67.6'sını parçacıklar, %28.4'ünü lifler, kalan kısmını da filmler oluşturmaktadır. Tespit edilen parçaların polimer türlerine göre dağılımında ise PET, PP ve PE öne çıkmaktadır (sırasıyla %32.9; %28.4; %19.4). Çalışmada her lokasyondaki örneklerde MP saptanırken denizler arasında anlamlı bir farklılık olmadığı görülmüştür.

Deniz ürünleri arasında yumuşakçaların sırasıyla 8.07 (partikül/g doku ıslak ağırlığı) ve 428.4 partikül/g 'nin %50 ve 95 ile en yüksek MP konsantrasyon dağılımına sahip olduğunu belirlenmiştir. Bu yüzdeler, kabuklular için bulunan konsantrasyonlardan yaklaşık dört kat daha yüksek olup balıklardan 40 kat daha yüksektir. Bu kısmen organizmaların beslenme ekolojisine ve mikroplastiklerin farklı çevresel bölmelerdeki dağılımına bağlanabilir [23].

## HAVADA MİKROPLASTİK

Dünya plastik üretiminin %16'sını plastik tekstil lifi oluşturmaktadır. Yıllık üretim hacmi 60 milyon metrik ton olan bu ürünler parçalandığında lif benzeri mikroplastikler ortaya çıkar ve bunların hem ev içi ortamlarda hem de açık havada bulunduğu tespit edilmiştir. Teneffüs edilen bu parçalar genellikle vücut tarafından tolere edilirken bir kısmı ise akciğerlerde inflamasyon gibi etkilere yol açabilir. Polisiklik aromatik hidrokarbonlar gibi kontaminantlar ve plastik içerisinde bulunan boya ve plastikleştirici gibi katkı maddeleri karsinogenik ve mutajenik etki gösterebilir [13].

## BALDA ve ŞEKERDE MİKROPLASTİK

Almanya'da yapılan ve Almanya, Fransa, İtalya, İspanya ve Meksika'dan temin edilen 19 bal örneğinde yapılan çalışmada [37] tüm örneklerde lifler ve parçacıkları tespit edilmiştir. Baldaki lif miktarı 40-660/kg (ortalama  $166 \pm 147$ /kg), parçacık miktarı 0-38/kg (ortalama  $9 \pm 9$  kg) olarak tespit edilmiştir. Lif parçalarının uzunluğu 40 µm ile 9 mm arasında değişmektedir. Parçacıkların boyları

ise 10-20 µm arasında ölçülmüştür ve çoğunluğun mavi renkte olduğu görülmüştür. Araştırmacılar balda bulunan bu mikroplastiklerin arılar tarafından kovana taşınmış olabileceğini veya balın işlenmesi aşamasında meydana gelen bir bulaşma sonucu bala geçmiş olabileceğini belirtmişlerdir. Her iki durum da olasıdır ve aynı anda gerçekleşmiş de olabilir. Araştırmacılar aynı çalışmada şeker örneklerinde de MP tespit etmişlerdir. Tüm rafine şeker örneklerinde saydam ve renkli lifler (ortalama 217±123/kg) ile parçacıklar (32±7/kg) bulunmuştur. Rafine edilmemiş şeker örneklerinde ise bu sayı çok daha fazladır. Kilogram başına 560 lif ve 540 parçacık bulunduğu raporlanmıştır.

## POŞET ÇAYDA MİKROPLASTİK

Kanada'da yapılan bir çalışmada sıcak suda bekletme sonrası poşet çayın ambalaj materyalinden suya geçen mikroplastik miktarı araştırılmıştır. Dört farklı markanın kullanıldığı çalışmada çayın kendisinden gelen mikroplastikler değerlendirmeye alınmamış olup sadece ambalaj materyalinden suya geçen MP miktarı hesaplanmıştır. Bunu sağlamak için ambalajlar kesilerek çay örnekleri çıkarılmış ve sadece ambalajlar sıcak suya (95°C, 5 dakika) daldırılarak bekletilmiştir. Bu işlem sonrasında mikro ve nano parçacıkların tespiti elektron mikroskopu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Poşetlerin ve süzütünün kimyasal kompozisyonunun belirlenmesi için Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ve X-Işını Fotoelektron Spektrometresi tekniğinden yararlanılmıştır.

Çalışma sonucunda bir plastik çay poşeti ile hazırlanan çay bardağı başına plastik yükün 16 µg olduğu tahmin edilmiştir. Bu değer sofrta tuzunda (0.005 µg/g tuz) bildirilen en yüksek seviyenin üzerindedir. Bununla birlikte çay poşeti oda sıcaklığında demlendiğinde çok daha az parçacığın salındığı görülmüştür. Mikroplastikçe maruz kalma konusunda ambalajın kullanım koşullarının ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Bir fincan çayla beraber 2.3 milyon adet mikron boyutunda (~1-150 µm) parçacığın ve 14.7 milyar mikron altı (<1 µm) boyuttaki parçacığın demleme sonucu suya salındığı tahmin edilmektedir.

16 µg olarak tahmin edilen 2.3 milyon mikron büyüklüğünde parçacıklar ve 14.7 milyar mikron altı plastik parçacıklar 1 fincan çaya salınabilir. Bu şekilde açığa çıkan plastik parçacıkları sadece insanlar tarafından tüketilmemekte aynı zamanda atık olarak kanalizasyona ve su sistemlerine karışmakta ve oradan da çeşitli ortamlara yayılarak mikroplastik kirliliğinin boyutunu artırmaktadır [38].

## TAVUK ETİNDE MİKROPLASTİK

Fransa'da ekstrüde polistiren köpük (XPS) tepsilerde satışa sunulan tavuk eti örneklerinde yapılan çalışmada [39] önemli sonuçlar elde edilmiştir. FTIR ve mikroskop kullanılarak Fransa marketlerinde satılan 4 farklı markaya ait paketlenmiş tavuk eti üzerinde yapılan incelemede paketlerin iç kısmında ve et ile tepsi arasında aynı zamanda da ambalajın dış kısmında mikroplastik varlığı saptanmıştır. Tepsinin iç ve dış

kısımında tepsi ile et arasında ve et ile koruyucu film arasında MP-XPS parçacıklarına rastlanmış olması MP kontaminasyonunun ürünün paketlenme sürecinden önce başlamış olabileceği ihtimalini akıllara getirmektedir. Üretimin gerçekleştirildiği ortamda havada asılı halde MP-XPS parçacıkları olabileceği düşünülmektedir. MP'lerin küçük boyutta olması ve düşük molekül ağırlığının yanı sıra elektrostatik yük ile birlikte çeşitli yüzeylere yapışabilme özelliği bu ihtimali kuvvetlendirmektedir. Her ne kadar kullanılan PS malzeme gıda ile temas için uygun özelliklere sahip olsa da tavuk üzerinde kalan MP'lerin toksisitesi, stirenin desorpsiyonu ve pişirme sırasında ortaya çıkabilecek bozunma ürünlerinin varlığı önemli bir soruna işaret etmektedir. Tavuk etlerinde tespit edilen mikro parçacıklar kimyasal yapı, renk ve gözeneklerin varlığı yönünden XPS tepsi ile benzer yapıdadır. Bu nedenle tepside ürüne geçip geçmediği noktasında bir soru işareti yoktur. FTIR spektrumları ve mikroskopik analizler sonrasında ambalaj materyalinin sadece dış yüzeyinde değil iç yüzeyinde de MP varlığına rastlanmıştır. Aynı zamanda tavuk eti ile plastik mühür arasında da MP-XPS varlığı da dikkate alınmalıdır. Ambalaj materyalinin dış yüzeyindeki MP XPS miktarı markaya göre değişmekle birlikte kilogram başına 1.1±1.9 adet ve 10.8±6.0 adet arasında; iç yüzeyde ise 4.0±4.5 adet ile 18.7±8.3 adet arasında ölçülmüştür. Her örneğin kendi içindeki sapması yüksek olduğu için fark önemli bulunmamıştır. Fakat p değeri 0.05'e çok yakın bulunduğu için zayıf da olsa bir farklılıktan söz edilebilir. Çalışmada elde edilen önemli sonuçlardan biri de yıkama sonucunda MP parçacıklarının etten kolay kolay uzaklaşmadığıdır. Bu da göstermektedir ki pişirme öncesi eti yıkamanın MP yüküne etkisi çok azdır. Dolayısıyla mikroplastik varlığının önemli kısmı pişirme sırasında etin yüzeyinde bulunmaktadır. Ayrıca çalışmada tespit edilen MP varlığından yola çıkılarak yapılan hesaplamada yetişkin bir insanın günde yaklaşık 1.4 mg MP tükettiği sonucuna varılmıştır.

## PLASTİK GIDA KAPLARINDA MİKROPLASTİK

Gıda dağıtım sisteminin küresel çaptaki değerinin 2015 yılı verilerine göre 89 milyar ABD doları olduğu ve yıllık ortalama %2.7 arttığı ifade edilmektedir. Hazır gıda ve içecek sektörüne olan talebin artması ve değişen alışkanlıklar neticesinde gıda endüstrisinde plastik ürünlerin özellikle de tek kullanımlık plastik malzemelerin kullanım oranı giderek artmaktadır. Dünya genelinde üretilen plastiklerin %40'ünün tek kullanımlık olduğu ve büyük oranda gıda ambalajlamada kullanıldığı belirtilmektedir. Bu noktada gıdaların taşındığı plastik malzemelerin yapısının MP varlığı açısından değerlendirilmesi de önem arz etmektedir. 2020 yılında yapılan bir çalışmada [40] yuvarlak ve dikdörtgen şekilli plastik kaplar ile plastik bardakların MP varlığı incelenmiştir. Buna göre plastik kaplardan yuvarlak şekilli olanlardan 12±5.12 mg; dikdörtgen şeklinde olanlardan 38±5.29 mg; plastik bardaklardan ise 3±1.13 mg MP parçacığı izole edilmiştir. Bu çalışma MP konusunda plastik kapların şekillerinin dahi önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

## SONUÇ

Plastik, hayatımızın hemen hemen her alanında kullandığımız ve kolay kolay da hayatımızdan çıkaramayacağımız bir maddedir. Plastiklerin tüketiciler tarafından bilinçsiz kullanımı ve geri dönüşümün yetersiz olması çevre sorunlarına yol açabilmektedir. Mikroplastik kontaminasyonu ve dağılımını anlamak, MP'lerin hangi gıdalarda sorun taşınabileceği, hangi plastik öğelerin kontaminasyonu etkilediğini ve eleme önlemlerinin alınmasında faydalıdır.

Mikroplastik kirlilik, Arktik kar ve Alp topraklarından en derin okyanuslara kadar tüm gezegen de tespit edilmiştir. Mikroplastiklerin boyutları nedeniyle biyolojik birikim potansiyelleri çok yüksektir. Parçacıklar toksik kimyasallar ve zararlı mikroplar barındırabilir ve bazı deniz canlılarına zarar verebilir. Yapılan araştırmalarda havada, içme sularında, sofrta tuzlarında, balda, tavuk eti gibi gıda maddeleri MP parçacıkları tespit edilmiştir.

Mikroplastik sorunu ancak son zamanlarda fark edilmesine rağmen, bu konuda yeterince çalışmanın olduğunu söylemek güçtür. Mikroplastığe insanların maruz kalması küresel bir sorun olarak kabul edilmektedir ancak belirsizlik, değişkenlik ve yaşam boyu birikim çözülmemiştir. Araştırmacılar, şu an için ortamdaki MP ve nanoplastik seviyelerinin insan sağlığını etkilemeyecek kadar düşük olduğunu düşünmektedirler. Ancak, okyanuslarda ve iç sularda plastik kontaminasyonu sadece su ortamını değil insanları da etkileyen ciddi bir sorun olabileceği potansiyeli yüksektir. Gıda zincirindeki MP kontaminasyon son zamanlarda tüketiciler ve bilim camiası arasında büyük ilgi görmüştür. Şu anda MP'lerin insan sağlığı üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri hakkında mevcut bilgiler yetersiz, dağınık ve henüz istenen seviyeden uzaktır. Şu anda Avrupa Birliği'nde ve ülkemizde gıda kontaminantı olarak MP'lerle ilgili bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. Gıdalarda ve çevrede bulunan MP'lerle ilgili bir yasal çerçeve çizilmesine yönelik genel bir eğilim olmakla birlikte bu noktada çeşitli bilgi eksiklikleri bu konuyu zorlaştırmaktadır. Analitik metotlarda birlikteliğin sağlanması, MP'lerin toksik etkilerinin belirlenmesi, izleme verileri gibi konulardaki eksikliklerin giderilmesi bu konuda yapılacak yasal düzenlemeler için de yol gösterici olacaktır.

Mevcut bilimsel kanıtlara dayanarak, mikroplastiklerin önemli bir gıda güvenliği tehdidi oluşturmadığını ve balıkçılık ürünlerinin alımıyla ilişkili sağlık yararlarının potansiyel riskleri aşmayacağını belirtmek güvenlidir. Bununla birlikte, yaygın olarak yutulan plastiklerin toksikolojik verileri, yüksek sıcaklıkta pişirme veya işleme mikroplastiklerin toksisitesi üzerindeki potansiyel etki ve dokular ve organlardaki nanoplastik parçacıkların translokasyonu, dağılımı ve emilmesi için spesifik yollar gibi birçok bilgi boşluğu vardır. Farklı gıda türlerinden henüz bilinmeyen mikroplastiklerin alımları araştırılmalı ve tartışılmalıdır.

Sorunu kaynağında azaltmak için, geri dönüşümün daha yaygın hale getirilmesi, tüketicilerin bilinçlendirilmesi ve konu hakkında gerekli yasal düzenlemelerin yapılması

hem gıda güvenliği hem insan ve hayvan sağlığı hem de ekolojik denge açısından önem arz etmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Sunday, N.F. (2020). Microplastics: Holistic overview of source, identification, interaction, health and environmental implications and strategies of abatement. *Acta Chemica Malaysia*, 5(1), 18-23.
- [2] Lusher, A., Hollman, P., Mendozal, J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety.
- [3] Ginneken, V. Van., (2019). Plastic in the food chain and the expected pandemic of cancer? *Novel Approaches in Cancer Study*, 3(3), 277,9.
- [4] Nara, R. (2019). Microplastic Contamination of the food supply chain. *Food Safety Magazine* (December 2018), 1-12.
- [5] Rainieri, S., Barranco, A. (2019). Microplastics, a food safety issue? *Trends in Food Science and Technology*, 84, 55-7.
- [6] Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R.C., Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060-75.
- [7] A. Glaser, J. (2019). Biological Degradation of Polymers in the Environment. *Plastics in the Environment*, IntechOpen.
- [8] Liu, Y., Huang, J., Jin, J., Lou, S., Shen, C., Zang, Wang, H., Wang, L. 2020. The Classification of micro-plastics and biodegradation of plastics / *Micro-plastics. Academic Journal of Engineering and Technology Science*, 3(6), 181-90.
- [9] Myszograj, M. (2020). Microplastic in food and drinking water - environmental monitoring data. *Civil and Environmental Engineering Reports*, 30(4), 201-9.
- [10] Boucher, J., Friot, D. (2017). Primary microplastics in the oceans: A global evaluation of sources. IUCN International Union for Conservation of Nature.
- [11] Karbalaei, S., Hanachi, P., Walker, T.R., Cole, M. (2018). Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(36), 36046-63.
- [12] Wetherbee, G.A., Baldwin, A.K., Ranville, J.F. (2019). It is raining plastic. Reston, VA.
- [13] Gasperi, J., Wright, S.L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F.J., Tassin, B. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 1-5.
- [14] Verla, A.W., Enyoh, C.E., Verla, E.N., Nwamnorh, K.O. (2019). Microplastic-toxic chemical interaction: a review study on quantified levels, mechanism and implication. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1-30, Doi: 10.1007/s42452-019-1352-0.
- [15] Rochman, C.M., Parnis, J.M., Browne, M.A., Serrato, S., Reiner, E.J., Robson, M., Young, T., Diamond, M.L., Teh, S.J. (2017). Direct and



- indirect effects of different types of microplastics on freshwater prey (*Corbicula fluminea*) and their predator (*Acipenser transmontanus*). *PLOS ONE* 12(11): e0187664.
- [16] Wright, S.L., Kelly, F.J. (2017). Plastic and human health: A micro issue? *Environmental Science and Technology*, 51(12), 6634-47.
- [17] Lusher, A.L., Welden, N.A., Sobral, P., Cole, M. (2017). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Analytical Methods*, 9(9), 1346-60.
- [18] De-la-Torre, G.E. (2020). Microplastics: an emerging threat to food security and human health. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1601-8, Doi: 10.1007/s13197-019-04138-1.
- [19] Revel, M., Châtel, A., Mouneyrac, C. (2018). Micro(nano)plastics: A threat to human health? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 17-23.
- [20] Lim, X. (2021). Microplastics are everywhere-but are they harmful? *Nature*, 593(7857), 22-5.
- [21] Cox, K.D., Covernton, G.A., Davies, H.L., Dower, J.F., Juanes, F., Dudas, S.E. (2019). Human consumption of microplastics. *Environmental Science and Technology*, 53(12), 7068-74.
- [22] Prata, J.C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution*, 234, 115-26.
- [23] Mohamed Nor, N.H., Kooi, M., Diepens, N.J., Koelmans, A.A. (2021). Lifetime Accumulation of Microplastic in Children and Adults. *Environmental Science & Technology*, 55(8), 5084-96.
- [24] Armstrong, M. (2019). How We Eat, Drink and Breathe Microplastics. <https://www.statista.com/chart/18299/how-we-eat-drink-and-breathe-microplastics/>. [Erişim tarihi 16 Temmuz 2020].
- [25] Picó, Y., Barceló, D. (2019). Analysis and prevention of microplastics pollution in water: Current perspectives and future directions. *ACS Omega*, 4(4), 6709-19.
- [26] Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.U., Furst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154-62.
- [27] Oßmann, B.E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S.H., Dicke, W. (2018). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research* 141, 307-16.
- [28] Koelmans, A.A., Nor, N.H.M., Hermsen, E., Kooi, M., Mintening, S.M., France, J.D. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality. *Water Research*, 155, 410-422.
- [29] 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.
- [30] Peixoto, D., Pinheiro, C., Amorim, J., Oliva-Teles, L., Guilhermino, L., Vieira, M.N. (2019). Microplastic pollution in commercial salt for human consumption: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 219, 161-8.
- [31] Gündoğdu, S. (2018). Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 35(5), 1006-14.
- [32] Kim, J.S., Lee, H.J., Kim, S.K., Kim, H.J. (2018). Global Pattern of Microplastics (MPs) in Commercial Food-Grade Salts: Sea Salt as an Indicator of Seawater MP Pollution. *Environmental Science and Technology*, 52(21), 12819-28.
- [33] Fadare, O.O., Okoffo, E.D., Olasehinde, E.F. (2021). Microparticles and microplastics contamination in African table salts. *Marine Pollution Bulletin*, 164.
- [34] Wang, W., Gao, H., Jin, S., Li, R., Na, G. (2019). The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 173, 110-7.
- [35] EFSA Publication (2016). Statement on the presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. European Food Safety Authority. the EFSA Journal, No. 4501, Vol. 14(6) <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4501>
- [36] Gedik, K., Eryaşar, A.R. (2020). Microplastic Pollution Profile of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) collected along the Turkish Coasts. *Chemosphere*: 127570.
- [37] Liebezeit, G., Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives and Contaminants -Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 30(12), 2136-40.
- [38] Hernandez, L.M., Xu, E.G., Larsson, H.C.E., Tahara, R., Maisuria, V.B., Tufenkji, N. (2019). Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. *Environmental Science and Technology*, 53(21), 12300–10.
- [39] Kedzierski, M., Lechat, B., Sire, O., Le Maguer, G., Le Tilly, V., Bruzard, S. (2020). Microplastic contamination of packaged meat: Occurrence and associated risks. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100489.
- [40] Fadare, O.O., Wan, B., Guo, L.-H., Zhao, L. (2020). Microplastics from consumer plastic food containers: Are we consuming it? *Chemosphere*, 253, 126787.