

KÜRESEL PLASTİK KİRLİLİĞİ, NANO- MİKROPLASTİK TEHLİKESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Meral YURTSEVER

Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
Sakarya / Türkiye

Öz: Sağladığı birçok avantaj sayesinde dünyada çok fazla üretilen plastik polimerler, her alanda yaygın olarak kullanılan ürünlerde bulunmaktadır. Özellikle son 7 yıldır üretimle orantılı olarak plastik ürünlerin kullanımının da aşırı olarak arttığı bilinmektedir. Plastiklerin günlük hayatta getirdiği rahatlık, insanoğlunu iyice plastik bağımlısı haline dönüştürmüştür ve insanoğlu plastiklerin kullanımından sonra atıkların toplanması ve doğru bir şekilde yönetimi sağlansa çevrede belki de çok fazla problem oluşturmayacak olan plastik atıkları ne yazık ki günümüze kadar aşırı miktarlarda oluşturup dikkatsizce çevreye dağıtmış bulunmaktadır. Buzullar içerisinde plastik parçacıklara rastlanması, hatta dünyanın bilinen en derin noktası olan Mariana çukurundaki (-10.994 metre) dip hadal sedimentlerinde bile mikroplastiklerin bulunması bu kirliliğin çevreye yıllardır kontrolsüzce dağıldığının ispatıdır. Mikroplastikler (<5mm) çevrede çeşitli boyutta ve şekilde (parçacık, film ve lif) bulunabilmektedir. Gözle görünmeyen, dayanıklı olan en kötüsü her an her yerde bulunan mikroplastikler günümüzde adeta kalıcı bir kirlenici gibi çevre ve biota için ciddi bir tehdit oluşturmaya başlamıştır. Mikroplastik kirliliği tamamıyla antropojeniktir. Plastik atıklar doğada yalnızca estetik bir kirlilik oluşturmakla kalmayıp daha küçük parçacıklara ayrılarak uzun yıllar boyunca çevreye ve canlılara daha zararlı hale dönüşmektedir. Parçalanarak mikron boyutuna gelmiş bir plastik, çevresel ve antropojenik şartlarla kolayca her yere dağılılabir, su kaynaklarına karışabilir, sudaki canlılar tarafından yutulabilir veya

sulardaki zararlı organik maddeleri adsorplayarak besin zincirine taşınmasında bir araç olarak rol oynayabilir. Bu sebeplerden dolayı plastik atıkların önlenmesinde mümkün mertebede sıfır atık oluşumunu benimseyen bütüncül ve sürdürülebilir yaklaşımlarla toplumsal bilinci de uyarabilen etkin ve çevreci bir atık yönetiminin tüm paydaşlarla birlikte sağlanması esastır.

GLOBAL PLASTIC POLLUTION, NANO-MICROPLASTIC THREAT AND SUSTAINABILITY

Abstract: Thanks to many advantages they offer, plastic polymers are produced in vast quantities, and find their way into products used in every domain of life. There is no question about the substantial increase in the use of plastic products in the past 7 years in particular, in parallel to production trends. The fact that plastics introduce many comforts in our daily lives only reinforced the process by which the mankind became virtually addicted to plastics. And in this context, plastic waste, which would have been a manageable issue in terms of the impact on the environment, had it been disposed, collected, and managed correctly after use, has, unfortunately, been produced and released carelessly into the environment, in huge volumes to boot. The observation of plastic particles even in glaciers, not to mention microplastics in hadal sediments from Mariana trench, the deepest known point on the crust of earth (-10,994 meters), is only proof of the scale of uncontrolled pollution we have been exposing the environment to for years now. In the environment, microplastics (<5mm) are observed in various shapes (fragment, fiber and film) and sizes. Given their invisible, durable, and last but certainly not least, ubiquitous characteristics, small microplastics nowadays came to pose a substantial threat for the environment and the biota, as a persistent pollutant. Microplastic pollution is a completely anthropogenic one. In the nature, plastic waste causes not only aesthetic pollution, but also gets decomposed into smaller particles which would be even more hazardous for the environment and the organisms for the years to come. A micron-size plastic can easily find its way into any environment thanks to anthropogenic as well as environmental factors, contaminate water sources, get swallowed by aquatic life, or adsorb hazardous organic substances in water and therefore providing a means for their introduction to the food chain. Therefore, for the purposes of preventing plastic waste, one should try and build up, in cooperation with all stakeholders involved, an effective and environment-friend-

ly waste management framework that is also capable of stimulating the social awareness through holistic and sustainable approaches embracing the goal of zero-waste to the extent possible.

GİRİŞ

Çevreye düşünmeden bırakılan veya dökülen plastik çöplerin, doğadaki yağışlar ve akışlar sayesinde derin okyanus yüzeylerine ve hatta diplerine kadar taşınabildiği (Peng vd., 2018), okyanuslardaki girdap akımlarının ortasında dev plastik çöplüğü oluşturduğu bilinmektedir (Eriksen vd., 2014; Jambeck vd., 2015). Bilim adamları, kullanılmış plastiklerin çok azının geri dönüştürüldüğüne, dünyanın hızla plastik bir gezegene doğru dönüştüğüne ve özellikle tek kullanımlık ürünlerin kullanımı konusunda tedbirler alınmazsa, uzun vadede dünyadaki jeolojik kayaçların bile plastiglomerate denilen plastik katmanlardan oluşacağına dikkat çekmektedir (Zalasiewicz vd., 2016; Corcoran vd., 2014). Çevrede ve sularda plastik kirliliğinin boyutları arttıkça, tabiat restoratif (onarım) kapasitesini kaybetmeye ve özellikle sular, içinde yaşayan canlılarla birlikte tehlike alarmı vermeye başlamıştır. Böylece, bütün bu atıkların sorumlusu olan insanoğlu mecburen önleyici tedbirler alınması gerektiğinin bilincine varmaya başlamıştır. Çünkü çevreyi kirletenler plastikler değil, insanlardır. Daha doğrusu insanların sonuçlarını bilmeden, düşünmeden, önemsemeden yani kasten veya kazara yapmış oldukları davranışlarıdır.

Plastiklerin genel özellikleri şöyledir;

1. Hafiftir, suda yüzerler.
2. Çeşitli türlerdeki polimerlerdir.
3. Lipofiliktir, (yağı sever).
4. İşlenmeleri ve şekillendirilmeleri kolaydır.
5. Elektrik akımına, ısıya ve soğuğa karşı yalıtkan davranırlar.
6. Birçok kimyasala karşı dayanıklıdır.
7. Genellikle tekrar kullanılabilirler ve rejenere edilebilirler.
8. Plastiklerin özellikleri ilave katkı maddeleri (örn: Bisfenol A, ftalatlar, Pb Cd metalleri, fungusitler) ile geliştirilebilir ve oldukça dayanıklı plastikler üretilebilir.
9. Toksik kimyasalları üzerinde adsorplayarak taşıyabilirler.

Yukarıda bahsedilen özelliklere bakıldığında (Koelmans vd., 2016) bile çevreye her an dağılan plastik parçalarının nasıl bir tehdit oluşturacağı kolayca anlaşılabilir. Havada, suda, toprakta (Dris vd., 2016; Kaya vd., 2018; Weithmann vd., 2018; Nizzetto vd., 2016), midye, balık, karides, yengeç, tuz, bal, bira, musluk suyu, şişelenmiş sular vb. (Lusher vd., 2017; Yang vd., 2015; Karami vd., 2017; Yurtsever, 2018; Mason vd., 2018; Kosuth vd., 2018) gibi gıdalarda, içeceklerde bol miktarda bulunduğu tespit edilen mikroplastik kirliliğine maruziyetin insan sağlığına olumsuz etkileri konusunda henüz önemli bir kanıt bulunmamaktadır. Yine de bu konunun öncelikli olarak ele alınması gereken, riskler teşkil eden önemli bir global problem olduğu bellidir (Anbumani ve Kakkar, 2018).

Risk algısının, toplumun belirli bir riske nasıl tepki verdiği konusunda önemli bir etkisi vardır. Gerçek riskler ile algı arasındaki uyumsuzluğun yaşanması, toplumsal girişimlere dair uygun olmayan düzenleyici önlemlerin alınması gibi kötü kararların alınabilmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, risk algısının kaçınılmaz olarak risk algısı ile giden önyargıları ve sürücülerini kabul eden bilinçli bir temele dayandırılması önemlidir. Örneğin günümüzdeki plastik kirliliği, kimyasalların veya genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO'lar) neden olduğu diğer klasik riskler açısından farklılık gösterir, çünkü kirlilik daha görünürdür ve zaten önemli bir hacme ve miktara sahiptir. Aynı zamanda dünyada tüm insanlar plastik malzemeleri kullanmaya alışkındır ve günlük hayatta plastik kullanımına büyük ölçüde bağımlı hale gelmiştir. Bu, toplumsal risk algısını güçlendirmek için bazı potansiyeller sunar ve daha sonra kirliliğe yönelik etkili önlemleri sağlayabilir. Plastik kirliliğinin süreçlerini tartışırken sekiz risk algısı sürücüsü; gönüllülük, kontrol, bilgi, zamanlama, önem, fayda, yenilik ve somutluk tanımlanabilir ve bu sürücüler plastik kirliliğiyle ilişkilendirilebilir. Plastik kirliliğinin, bilim adamları, kamuoyu ve politika belirleyiciler tarafından önemli bir çevresel sorun olarak kabul edilmesi ve bahsedilen sekiz risk faktörünün bunu nasıl etkilediğine dair süreçlerin anlaşılması önemlidir. Plastik kirliliği konusunun, insanların risk algısını ciddi bir şekilde arttırabilme ve problemle ilgili büyük bir farkındalık yaratabilme gibi bazı önemli özellikleri vardır (Wagner ve Lambert, 2017)

Tek kullanımlık kültürün özeti olan plastikler, hem ekotoksikolojik hem de ruhsal bir problem oluşturmaktadır (Adkins, 2017). Gerçekten de plastik içeren ürünlere bile bile maruz kalma düşüncesi ve çevredeki gıdalardaki mikroplastik




kirliliği artık, bu konuda bilinçli insanları etkileyen ciddi bir problem haline dönüşmüştür.

KÜRESEL PLASTİK KİRLİLİĞİ

1907 yılında Leo Hendrik Baekeland tarafından ilk sentetik plastiğin (bakalit) elde edilmesiyle beraber (Crespy vd., 2008), sonraki 50 yılda piyasaya çıkacak diğer sentetik plastik çeşitlerinin de yolu açılmıştır. İlk sentetik plastik çeşitlerinin 20. yüzyılın başlarında ortaya çıkmasına rağmen, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra askeri işlerde kullanımların artması dışında plastik malzemelerin yaygınlaşması gerçekleşmemiştir. Bugün için sentetik organik polimerleri içermeyen “plastiksiz bir dünya” hayal edilemez gibi gözükse de, dünyada büyük ölçekli plastik üretim ve kullanımı başlangıcının yalnızca 1950' lere dayandığı ve insanların dünyanın varoluşundan o tarihlere kadar, asırlardır plastiksiz hayatlar sürdürdüğü aşikârdır. Günümüzde, plastik üretimindeki hızlı büyümenin; inşaat sektöründeki çelik ve çimento gibi yaygın olarak kullanılan malzemeler ayrı tutulursa, diğer insan yapımı malzemelerin çoğunu geride bırakarak olağanüstü bir boyuta ulaştığı görülmektedir (Geyer vd., 2017).

Günümüzde plastiğin girmediği ürün neredeyse yoktur. Özel olarak geliştirilen dayanıklı plastiklerin çevresel faktörlere ve UV ışınlarına karşı son derece dirençli olanları bulunmaktadır. Tüm dünyada kullanılan ve 1-7 arası rakamlarla reçine tanımlama-geri dönüşüm kodları olan bazı plastik tiplerinin adları ve kullanım alanları Tablo 1' de verilmiştir. Bunun yanı sıra Polyester (PES), ABS (Akrilonitril bütadien stiren), PMMA (Polimetil metakrilat, Akrilik, pleksiglas), ASA (Akrilonitril-stiren-akrilat), PC (Polikarbonat), PUR (Poliüretan), POM (Polioksimetilen, Asetal), SAN (Stiren-akrilonitril) vb. gibi çok farklı tipte ve özellikteki plastik polimerler de her alanda kullanılmaktadır. Hatta yeni nesil kompozit ambalaj malzemelerinin içeriğinde de plastiklerin bulunduğu görülmektedir. Plastiklerin kâğıt, karton gibi malzemelerin yanı sıra; alüminyum, kalay gibi metallerle birlikte kompozit malzeme üretiminde kullanılması, bu malzemelerin dayanıklılığını artırsa da, atık haline geldiğinde ayrılmasını, geri dönüşümünü veya bertarafını zorlaştırabilmektedir. Örneğin yeni nesil ambalajlarda rastlanan “C/” tanımlama kodu, ambalajın kompozit malzemelerden oluştuğunu gösterir ve bu nedenle bu kodu taşıyan atık, karışık atık kutusuna atılmalıdır. C/LDPE (90) ve C/PAP (84) gibi kompozit malzemeler yeme-içme ve gıda malzemelerini ambalajlamada sıklıkla kullanılmaya başlamıştır.

Tablo 1. Plastik Adları, Reçine Tanımlama-Geri Dönüşüm Kodları ve Kullanım Alanı

Plastik Kodu, Adı	Kullanımı
 PET, PETE (Polietilen tereftalat) 1.37-1.45 g.cm ⁻³	Yaygın kullanım. Su şişeleri, meşrubat şişeleri
 PE-HD, HDPE (Polietilen-yüksek yoğunluklu) 0.94 – 0.96 g.cm ⁻³	Yaygın kullanım. Temizlik maddeleri, çamaşır deterjanı ve şampuan şişeleri ve süt şişeleri
 PVC (Polivinil klorür) 1.16-1.58 g.cm ⁻³	Boru, profil vb. imalatı, plastik film, şişeler, bardaklar
 PE-LD, LDPE (Polietilen-düşük yoğunluklu) 0.91 – 0.93 g.cm ⁻³	Yaygın kullanım. Poşetler, şişeler
 PP (Polipropilen) 0.83-0.90 g.cm ⁻³	Yaygın kullanım. Otomobil yan sanayinde, bahçe mobilyalarında
 PS (Polistiren) 0.96–1.05 g.cm ⁻³	Paketleme, elektronik ve beyaz eşya, izolasyon
 Diğer Çeşitli plastikler veya karışımları (Polikarbonat, Akrilik, vb.)	Bu ürünler BPA içerebilir. Kapaklar, tıbbi saklama kapları, su damacaneleri, bardak, çatal, mutfak gereçleri, otomotiv vs.
 81 C/PAP	Kompozit (Kağıt ve karton+ plastik) Ambalajlar
 82 C/PAP	Kompozit (Kağıt ve elyaf levha+Plastik+Aluminyum) Ambalajlar
 84 C/PAP	Kompozit (Kağıt ve karton+Plastik) Ambalajlar
 85 C/PAP	Kompozit (Kağıt ve elyaf levha+Plastik+Aluminyum+ Kalay) Ambalajlar
 90 C/LDPE	Kompozit (LDPE plastik+ Aluminyum) Ambalajlar

Geçtiğimiz yüzyıl içerisinde dünyadaki toplam plastik üretimine bakıldığında özellikle son 7 yıldır en fazla plastik üretiminin (ourworldindata.org) ve dolayısıyla da tüketiminin gerçekleştiği görülmektedir. Bu da son yıllarda ülkemizde dahil olmak üzere tüm dünyada daha fazla plastik ve nano-mikroplastik (MP) kirliliğinin çevreye yayıldığına kanıttır. Günümüzde mikroplastik kirliliğinin en belirgin tehdidi özellikle denizel yaban hayatı ekosistemi üzerindedir. Yıllardır okyanuslarda dolaşan plastik çöpler ve mikroplastikler zamanla okyanusların restoratif (onarıcı) kapasitesini azaltmıştır. Kirliliğin etkileri yalnızca bununla da kalmayıp insanları da etkilemeye başlamıştır; Örneğin deniz turizmi ve balıkçılık açısından sosyoekonomik etkilerinin yanı sıra, su ürünleri yiyen, yediği her ambalajlı gıdalla veya kullandığı tek kullanımlık ürünlerle çeşitli tipteki plastikleri de yutabilen ve sürekli sentetik plastik malzemelerin kullanıldığı ortamları (sentetik kıyafetler ve ev tekstili ürünleri, araç lastiği döküntüleri) soluyan insanlara da henüz tam anlaşılmasa da sağlık açısından olumsuz etkileri olacaktır. Öyleyse sürdürülebilirlik açısından plastikleri önlemede çok ciddi adımların atılması ve acilen yasal düzenleme ve yaptırımların uygulamaya geçirilmesi gerekmektedir. Dünyada çevredeki plastik kirliliğini önlemek ve gelecek için tedbirler alabilmek amacıyla adımlar atılmaya başlanmıştır. Buna örnek olacak bazı konulardan aşağıda bahsedilmiştir.

Kişisel bakım ürünlerindeki mikrobunucuların çevrede mikroplastik kirliliğine yol açtığına anlaşıldığı (Eriksen et al., 2013) günden bu yana birçok bilimsel araştırma grubu tarafından bu endüstriyel malzemenin çevreye verdiği zararlar masaya yatırılmış ve mikrobunucuların kullanımına devam edilirse çevre ve biyota için bir felaket olacağı bildirilmiştir (Rochman et al., 2015). Çünkü kanalizasyon vasıtasıyla arıtma tesislerine gelen mikroplastiklerin %99'unun tesiste giderildiği düşünülse bile (Murphy et al., 2016), bu giderim atıksudaki mikrobunucuların çamur içinde tutulması anlamına gelecektir. Arıtma çamurlarının bertarafında kullanılan düzenli depolama, araziye serme, zirai kullanım gibi uygulamalar sonucunda mikrobunucuların çamurdan çevreye dağılması ve yayılması söz konusu olacaktır. Bu sebeple mikrobunuk kirliliğini kaynağında önlemek yani mikrobunucuların kozmetiklerde ve diğer endüstriyel ürünlerde kullanımını yasaklamak en doğru karar olmuştur (Anderson et al., 2016). Mikrobunucular'ın kullanıldığı kozmetikler; yüz temizleme jelleri, peeling jelleri, duş jelleri, şampuanlar, sabunlar, diş macunları, eyeliner, rimel, dudak parlattıcısı, deodorant ve güneş kremleri) gibi aşırı tüketimi olan maddelerdir. 2017

yılında Amerika Birleşik Devletlerinde plastik mikroboncukların (microbeads) üretiminin yasaklanmasıyla , İngiltere, Kanada, Avustralya ve diğer ülkeler de harekete geçmiş ve 2018 yılı itibariyle neredeyse tüm ülkelerde kozmetiklere eklenen mikroboncuklar yasaklanmıştır (theguardian.com, Wu vd., 2017).

Schneiderman ve arkadaşları (NewYork’ da) microbeadslerin (MB) atıksu arıtma tesisi çıkışındaki durumunu anlamak amacıyla 34 arıtma tesisini inceledikleri bir çalışmada 25 tesisin çıkış suyunda mikroboncukların bulunduğunu yani bu tesislerin mikroboncukları tutamayıp su kaynaklarına geçişine aracı olduklarını tespit etmiştir. Kalan 9 tesiste ise, membran mikrofiltrasyon, sürekli ters yıkama akışlı çift kumlu mikrofiltrasyon (CBUDS) ve hızlı kum filtreleri gibi bazı üçüncül arıtma ünitelerinin bulunduğu belirtilmiştir (Schneiderman, 2015).

19 Aralık 2018 tarihi itibariyle alınan bir kararla Avrupa Birliği’ nde (AB) tek kullanımlık plastiklerin (kulak temizleme çubuğu, pipet, çatal bıçak, tabak, bardak, içecek karıştırıcı, balon çubukları, oxo-degrade olabilen plastikler, ve sıklıkla kullanılan polistiren kaplar, tabaklar ve bardaklar) yasaklandığı bildirilmiştir. Tüm üye devletlerin bunu ulusal yasalara dönüştürmek için iki yıl süresi vardır ve bu yasaklama en geç 2021 yılının başında yürürlüğe girecektir (greenpeace.org). Bu yeni AB kuralları, nehirleri ve okyanusları boğan plastik kirliliği ile mücadele etmek için büyük bir ilk adımdır ve dünyamız bu tek kullanımlık plastik kültürden ancak bu tip ciddi önlem ve kararlarla kurtulabilecektir. Alınan bu karar muhtemelen yavaş yavaş uygulamaya geçebilecek ve belki de bazı ülkelerde istenen başarı sağlanamayacak olsa da bu tip kararlar Çevre politikaları açısından oldukça olumlu gelişmelerdir.

Tek kullanımlık plastik ürünlerle ilgili de bazı kısıtlama veya yasaklamalar veya atığı azaltmaya teşvik edici uygulamalar yapılmaya başlansa da hala çevredeki plastiklerin önemli bir miktarını oluşturan ve geri dönüştürülemeyen ambalaj atıklarıyla ilgili adım atılmış değildir. Sürdürülebilirlik açısından bu atıkların oluşumundan bertarafına kadar etkili olan üretim, tüketim davranışları ve kurumsal davranışlar üzerindeki kurumsal normlar gözden geçirilerek tüm paydaşların ortak sorumluluk olarak çözüm üretmesi gerekir (Watson vd., 2010).

TEK KULLANIMLIK (KULLAN-AT) PLASTİK ÜRÜNLERİN YASAKLANMASI İÇİN 10 SEBEP

1. Tek kullanımlık plastikler, ucuzluğu ve pratikliği sebebiyle çok aşırı tüketilen malzemelerdir.

2. Her amaca hizmet edebilecek tip ve çeşitte üretilen bu ürünlerin her yerde satışı yapılmaktadır.

3. Kullanıldıktan hemen sonra saniyesinde veya birkaç dakikada atığa dönüşen plastikler özellikle atık yönetimi kötü olan ve bilinçsizliğin hakim olduğu bölgelerde kolayca çevreye dağılmaktadır.

4. Çevreye dağılmış tek kullanımlık ürünler çeşitli etkilerle parçalanarak nano-ve mikroplastiklere dönüşebilmektedir.

5. Tek kullanımlık ürünler günümüzde yediden yetmişe “tek kullanımlık bir kültürünün iyice gelişmesine” yol açmıştır (Adkins, 2017).

6. Tek kullanımlık plastikler sahillerde, denizlerde, okyanuslarda ve dip sedimentlerde rastlanan nano- ve mikroplastiklerin temel kaynağıdır.

7. Sucul ekosistem nano- ve mikroplastiklerden ciddi zararlar gördüğü gibi bu plastikler denize girdiğinde sudaki balina, balık, deniz aslanı, kaplumbağa ve daha bir çok canlı tarafından yutularak veya canlılar bu plastiklere takılarak zarar görebilmekte, hatta ölebilmektedir. Örneğin: Su kaplumbağalarının besin olarak yedikleri deniz analarına benzediği için sudaki plastik poşetleri yemesi veya balıkların, rengini ve tipini zooplanktona benzetererek plastik parçalarını (beyaz, krem, sarı) yutması (Wright et al., 2013),

8. Çöp deponi alanlarında depolanan ürünlerin çoğunu tek kullanımlık ürünler oluşturmaktadır.

9. Tek kullanımlık plastik tüketimi günümüzde neredeyse plastik çılgınlığı boyutuna ulaşmıştır. Öyle ki doğal olarak korumalı gibi olan muz, avakado gibi gıdalar bile soyulup polietilen, polistiren (expanded polystyrene food containers) gibi plastiklerle ambalajlanarak satılmaktadır. Bu tuhaf durum bile tüketimdeki ve hatta pazarlamadaki çılgınlığı gözler önüne sermektedir.

10. Kullanılan tek kullanımlık plastikler, küresel iklim değişikliğine katkıda bulunabilmektedir.

MİKROPLASTİKLER’İN ÖZELLİKLERİ, KAYNAKLARI VE DAĞILIMI

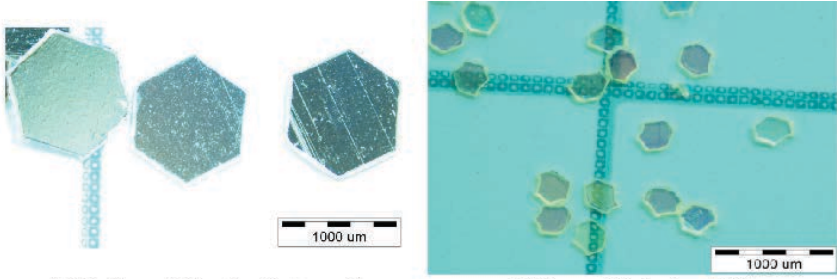
Genel olarak 5 milimetreden küçük plastik parçaları “mikroplastik (MP)” olarak tanımlanır. Çevredeki plastik parçaları boyutlarına göre genellikle beş farklı kategoride değerlendirilmektedir. Plastiklerin boyutlarına göre 1nm-1mm

arası olanları nanoplastik (Hartmann vd., 2015; da Costa vd., 2016), 1mm-5 mm arası mikroplastik, 5–20 mm arası mezoplastik, 20 mm-100 mm arası makroplastik ve 100 mm’ den büyük olanları ise megaplastik olarak adlandırılmaktadır (Barnes vd., 2009; de Lucia vd., 2014; Bråte vd., 2016). Mikroplastikler ise büyüklüklerine göre; küçük mikroplastikler (<1 mm) ve büyük mikroplastikler (2–5 mm) olmak üzere iki sınıfa ayrılarak incelenmektedir.

Mikroplastiklerin ilk tanımlanmasından bu yana, sadece boyutun değil, su veya kimyasal bileşimde çözünürlük gibi fizikokimyasal özelliklerin de dikkate alındığı her şey dahil bir tanımın oluşturulması konusunda bazı başarısız girişimler olmuştur. Verschoor (2015), spesifik mikroplastik özelliklerini dikkate alarak kapsamlı bir rapor hazırlamıştır. Konuyla ilgili çok sayıda bilimsel yayın ve raporlar nedeniyle, bu rapor çoğunlukla uluslararası düzeyde fark edilmeden gitmiştir. Bu nedenle, Verschoor’ un dikkat çektiği noktalar da dikkate alınarak mikroplastikler için Frias ve Nash (2019) tarafından aşağıdaki tanım önerilmiştir: “Mikroplastikler, suda çözünmeyen, birincil veya ikincil üretim kaynaklı, 1 um-5 mm arasında değişen, düzenli veya düzensiz şekilli olan herhangi bir sentetik katı parçacık veya polimerik matrislerdir. ” (Frias ve Nash, 2019). Gerçekten de bu yeni tanımın, herşey bakımından açıklayıcı olduğu ve dünya çapında yapılan tüm mikroplastik izleme ve karşılaştırma çalışmaları için yararlı olacağı düşünülmektedir.

Oluştukları kaynaklar göz önüne alındığında mikroplastikler, birincil (primer) ve ikincil (sekonder) mikroplastikler şeklinde iki grupta sınıflandırılır. Özel olarak 5mm’ den küçük boyutta üretilen plastik parçacıklarına Birincil mikroplastikler denir. Örneğin, 2017 yılına kadar kozmetiklere eklenen fakat günümüzde hemen hemen tüm dünyada yasaklı olan mikroboncuklar (microbeads) (Yurtsever ve Yurtsever, 2019), günümüzde makyaj, el işi ve tekstil malzemelerinde aşırı miktarda kullanılan simler (glitters), endüstriyel üretim peletleri ve geri dönüştürülmüş plastik peletler gibi doğrudan oluşan mikroplastiklere Birincil mikroplastikler denir. Büyük plastiklerin zamanla ve çeşitli etkilerle aşınarak parçalanması neticesinde oluşan mikroplastikler ise İkincil mikroplastiklerdir. İkincil mikroplastiklere örnek olarak; plastik eşyaların dökülmüş parçaları, sentetik tekstil ürünlerinden kopan mikrolifler, ulaşımdan kaynaklanan araç lastiği döküntüleri, hava tozlarındaki sentetik partiküller vb. sayılabilir.

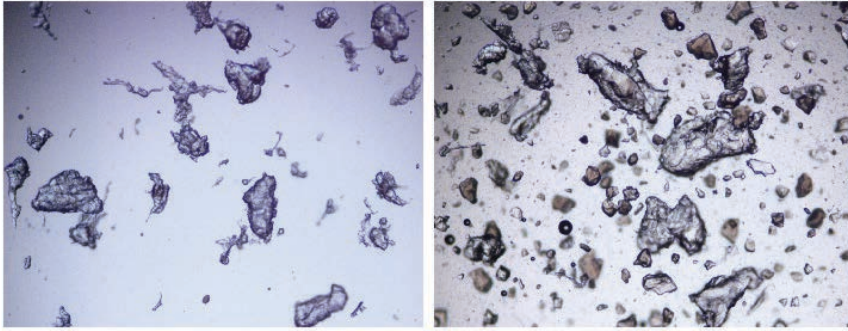
Birincil ve ikincil mikroplastiklere ait bazı görüntüler sırasıyla Şekil 1 ve 2’ de örnek olarak gösterilmiştir.



a) Gümüş renkli sim (keskin kenarlı)

b) Sarı renkli sim (çentikli)

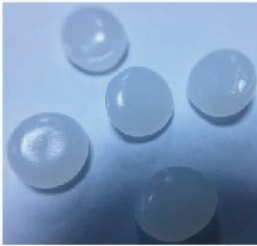
Kozmetik ve Diğer Malzemelerde Kullanılan Simler (hegzagonal kesimli)



c) (50-800 µm)

d) (60-700 µm)

Kozmetiklerdeki Mikroboncuklar (microbeads)



e) Polietilen (PE) üretim peleti (~5mm)



f) Geri dönüştürülmüş Polipropilen (PP) (~4mm)

Plastik Pletler

Şekil 1. Birincil (Primer) Mikroplastikler (M. Yurtsever, 2017)



Şekil 2. İkincil (Sekonder) Mikroplastik Kaynakları (M. Yurtsever, 2017)

Yaygın olarak kullanılan ambalaj malzemelerinden ve tek kullanımlık plastik ürünlerden oluşan plastik çöplerin, çevredeki mikroplastiklerin en önemli kaynağı olduğu bilinmektedir (Verschoor vd., 2014). Yuvarlak, küresel, oval,

dikdörtgen, silindirik, disk, amorf vb. gibi çeşitli geometrik şekillerde bulunabilen mikroplastikler, granül, pelet, parçacık, iplik-lif, film, uzun, kısa, yassı, kabuksu-flake, kırıklı, strapor-köpük (styrofoam) tiplerde bulunabilmektedir. Tabii bu şekil farklılıkları, mikroplastığı oluşturan esas plastik kaynağının tipine ve özelliklerine göre değişecektir. Bir mikroplastığın renginin solgunluğu- canlılığı veya yüzeyinin pürüzlülüğü-parlaklığı yani aşınma durumu onun su ortamına veya çevreye henüz yeni mi yoksa eskiden mi girdiğini gösterebileceği gibi degradasyona uğrayıp uğramadığı hakkında da bilgi verebilmektedir. Renk konusuna değinilecek olursa, çevrede kullanılan plastiklerle orantılı olarak dökülen mikroplastikler de rengarenk olmaktadır. Mikroplastiklerin hidrofobiklik, yüzücülük, kirleticileri taşıma potansiyeli, kalıcı organik kirleticileri (KOKlar) absorplama, UV foto-oksidatif bozulma, Termo oksidatiflik, bio ve/veya termal parçalanma vb. gibi özellikleri bulunmaktadır. (Hidalgo-Ruz vd., 2012, Wright vd., 2013).

Plastiklerin parçalanarak küçük parçacıklara dönüşmeleri onların biyo-parçalanmaya uğradıkları manasına gelmemektedir. Çeşitli şekilde parçalanmış plastiklerin yalnızca boyutları küçülür ve plastik, mikro boyuta gelse bile tipik özelliğini (yüzücülük, hafiflik, hidrofobiklik, kirletici taşıma potansiyeli, mikroorganizmalar için biyofilm oluşturma yüzeyi) yitirmemektedir (Mato vd., 2001). Mikroplastikler sudan daha hafif olduğundan su yüzeyinde yüzerek uzun mesafeler kat edebilmektedir. Plastik kirliliği deniz ortamına nehirler, plajlar, denizcilik faaliyetleri ve yasadışı deşarjlar aracılığıyla girer. Güneşin UV ışınlarının etkisiyle bozulması ve hidrolizi ile plastikler elastikiyetini kaybederek rüzgar ve dalgalar tarafından taşınırlar, yavaş yavaş daha küçük parçalara ayrılırlar (Eriksen vd., 2013).

Collignon vd. (2014) Calvi Koyu'nda (Korsika) mikro ve mesoplastik (5 – 200 mm) atıklarla ilgili olarak yaptıkları bir araştırmada yüzey sularında bulunan plastiklerin %54'ünün büyük ölçekli mikroplastikler olduğunu belirlemişlerdir. Hatta bir çok çalışmada çevrede yalnızca mikroplastiklerin değil, nanoplastiklerinde çok fazla bulunabildiği üzerinde durulmaktadır. Mikroplastiklerin boyutları ne kadar küçülürse, besin zinciri boyunca risk oluşturacağı canlı yelpazesi o ölçüde genişlemektedir. Farklı ortamlarda rastlanan mikroplastiklerin “**film, parçacık, veya lif**” formunda bulunma durumu da onların rüzgar, dalga, veya canlı hareketiyle taşınımını büyük ölçüde etkileyecektir. Kooi ve arkadaşlarının 2017'de yaptığı çalışmada görüldüğü gibi, bir mikroplastığın suda bek-

leme ömrü ve bir biyofilmle kaplanması bile o mikroplastığın su kolonu boyunca taşınım özelliklerini etkileyebilmektedir. Bilim adamları çevrede oluşan ve uzun ömürlü olan mikroplastiklerin belli süre havaya suya karışarak o ortamları kirlettiğini ifade etmekle beraber bu parçacıkların daha sonra hakim rüzgarlar, hava akımları, su yolları, nehir sistemleri, kıyı akımları gibi doğal yollarla ve çeşitli antropojenik aktiviteler aracılığıyla taşınarak sedimentlere kadar gittiğini ve dip deniz sedimetlerinde biriktiğini ifade etmektedir. Denizlere taşınamayan kısım ise topraklara girerek toprakta birikmeye devam edecektir.

MİKROPLASTİKLERİN CANLILARA ETKİLERİ

Gerek mukavemeti artırmak, gerekse farklı ve istenilen özellikte ürün üretmek amacıyla plastiklerde bisfenol A (BPA), ağır metaller (kurşun, bakır, kadmiyum vb. gibi), ftalatlar vb. gibi canlılara zararlı olabilecek katkı maddelerinin kullanıldığı bilinmektedir. Bunun yanı sıra plastikler lipofilik özelliktedir ve PBDE, DDT, PAH, PCB gibi çeşitli pestisit ve kalıcı organik kirleticileri (KOK) adsorplayarak yüzeyinde taşıyabilmektedir. Çeşitli canlılar plastik parçalarını bünyelerine aldıktan sonra sindirim, boşaltım, üreme ve büyüme sistemlerinde ciddi problemler yaşamaktadır. Bunun yanısıra mikron boyutundaki plastikler; organik kirleticileri çok iyi adsorplayabilmekte ve bu kirleticilerin besin zinciri yoluyla bir üstte bulunan canlılara aktarılmasına bir vasıta olabilmektedir (Bakir vd., 2014)

Mikroplastiklerin katkı malzemesi içermeleri (Bakir vd., 2014), toksik kirleticileri adsorplayabilmeleri (Koelmans vd., 2016; Teuten vd., 2007), canlılar tarafından besin zannedilerek yutulabilmeleri (Wright vd., 2013; Cole vd., 2013), atıksu arıtma tesislerinde tamamıyla giderilememeleri (Carr vd., 2016), atmosferde (Dris et al. 2017) ve su kaynaklarında kolayca taşınmaları (Desforges vd., 2014) ve doğada zor yok olmaları (Lusher vd., 2014) gibi özelliklerinden dolayı çevre ve sağlık açısından büyük tehlike arz etmektedir.

Son zamanlarda deniz ve okyanuslar kapsamında yapılan araştırmalar mikroplastiklerin ciddi bir problem haline geldiğini göstermektedir (Wright vd., 2013; Collignon vd., 2014; Hidalgo-Ruz vd., 2012). Tatlı su kaynaklarından göl, akarsu gibi yüzeysel sularda da büyük miktarda rastlanmış olan mikroplastiklerin besin zincirindeki planktondan hayvanlara hatta insanlara kadar olumsuz etkilerinin varlığı incelenmeye başlanmıştır (Eriksen vd., 2013). Yapılan çalışma-

larda; omurgasızlar, zooplanktonlar, midyeler (Van Cauwenberghe vd., 2015), solucanlar (Wright vd., 2013), balıklar (Khan vd., 2015) incelenmiş ve bu canlılara çeşitli yutturma deneyleri yaptırılarak, sindirim ve dışkılama, büyüme, çoğalma durumları takip edilmiştir. Mikroplastiklerin alg, su piresi (Besseling vd., 2014), copepod (Cole vd., 2015) gibi canlılara olan olumsuz etkileri de mercek altına alınmıştır ve son zamanlarda bilim adamları bu konulara odaklanmıştır. Midye, denizanası vb. gibi içinde yaşadığı suyu süzerek beslenen (filter feeding) balinalardan olan dişsiz balinalar (Balaenoptera physalus) ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda, bu canlıların suyu süzerek beslenmesinden dolayı aşırı miktarda mikroçöpe dolayısıyla mikroplastığe maruz kaldığı belirtilmiştir (Fossi vd., 2014).

Nano- ve mikroplastikler insan besin zincirine özellikle su ürünleri ile beslenme yoluyla ve/veya inhalasyon yoluyla girebilir. Bununla ilgili olarak, the Guardian gazetesindeki habere göre (15 Aralık 2018) İngiltere’de atık gıdalardan elde edilen yemlerdeki küçük plastik ambalaj döküntüleri, geri dönüşüm sürecinin yasal bir parçası olarak büyükbaş hayvanların yemlerine girebilmektedir. Hayvan yemindeki yasal plastik içeriği (Food Standards Agency tarafından verilen limit 0.15%) besi hayvanının dolayısıyla da insanların sağlığına zarar verebilir, bu sebeple yalnızca büyükbaş hayvan yemlerinde değil hiçbir hayvanın ve de insanın gıdasında nano-ve mikroplastik döküntüsü bulunmamalıdır.

İnsanlarda özellikle mikroplastikler için gastrointestinal sistem boyunca absorpsiyon nispeten düşüktür ve az toksisiteye sahip gibi görünmektedir. Bununla birlikte, nanoplastikler daha kolay emilir ve suda yaşayan türlerde ve diğer hayvanlarda beyin, karaciğer ve diğer dokularda birikebilir. Diğer malzemelerin nanopartiküllerini kullanarak yapılan çalışmalar, toksisitenin potansiyel olarak merkezi sinir sistemini ve üreme sistemini etkileyebileceğini düşündürmektedir, ancak maruziyet düzeyleri çok yüksek olmadığı ve absorpsiyonun fizyolojik faktörler ile arttırılmadığı sürece bu mümkün değildir. Yani kısacası, plastik parçacıkların emilimi yüksek ve sürekli olmadıkça toksisite olasılığı düşüktür. Besin zincirinin plastik kontaminasyonunun, insan dokularında yüksek seviyelerde kirlenme düzeylerine kadar (ancak sızan bir bağırsak, geçirgen bir kan-beyin bariyeri ve kirlenmiş gıda maddelerinin uzun süreli yutulması gibi özel şartlar altında) ciddi toksisiteye neden olması muhtemel değildir, fakat bu tamamen imkansız değildir (Waring vd., 2018).

Nano- ve mikroplastiklerin insan sağlığına etkilerinin anlaşılmasıyla ilgili olarak yapılmış olan sınırlı araştırmalar ve gözlemsel kanıtlar, sentetik tekstillerden mikrofiberlere maruz kalmanın mevcut düzeylerinin ciddi toksisiteye neden olma olasılığının düşük olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, uzun süreli kronik yutma ve nanofiberlerin inhalasyonunun potansiyel etkileri henüz bilinmemektedir. Bu konudaki eksik bilgi ve kamuoyunun yoğun ilgisi, bu konunun yüksek öncelikli araştırma sorunu olması gerektiğini ortaya çıkarmakta ve özellikle savunmasız gruplar için, kalıcı plastik mikro fiberlere ve nano elyaf-lara maruz kalmayı sınırlamanın gerektiğini göstermektedir. Güvenilir ve tutarlı analitik standartlar, maruziyeti izlemek için bir öncelik olarak ele alınmalıdır.

ÇEVRE TESİSLERİ, İŞLEMLERİ ve MİKROPLASTİKLER

Tatlı ve tuzlu tüm su kaynaklarında, İçilen şişe ve çeşme sularında, solunan havada, yenilen tüm su ürünlerinde, verimli-verimsiz topraklarda, güney ve kuzey kutup bölgelerinde, buzulların içinde, ıssız dağ göllerinde, hatta okyanusun kilometrelerce altındaki dip sedimentlerde küçük plastik parçalarına yani mikroplastiklere rastlanmış olması, insan eliyle oluşturulan bu kirliliğinin doğal süreçlerle de çok uzak ve hiç beklenmeyen yerlere taşınabildiğinin ispatı olmuştur.

Kirliliğin boyutunun anlaşılmasıyla bazı ülkeler belli tedbirler alıp, yeni yasal düzenlemelerle plastik tüketimini sınırlandırmaya çalışsa da, plastikler adeta her yerden fışkırmaktadır. Hatta öyle ki işletilen çevre tesislerinden veya çevre kapsamında işlemlerden su kaynaklarına, havaya ve topraklara mikroplastiklerin taşınması ve dağıtılması söz konusu olabilmektedir. Plastik kirliliğinin geri dönüşümle başa çıkılamayacak olduğunu istatistiksel rakamlar da göstermektedir. Bu sebeple bu kirlilikten kurtulmada özellikle tek kullanımlık ürünlerin kullanımının bırakılması isabetli bir karar olacaktır.

Bugüne kadar dünyada ham plastik olarak 8300 milyon ton (Mt) üretildiği tahmin edilmektedir. 2015 yılı itibariyle yaklaşık olarak 6300 milyon ton plastik atık üretilmiş, bunun % 9' u geri dönüştürülmüş, % 12'si yakılmış ve % 79'u çöp sahalarında veya doğal çevrede birikmiştir. Mevcut üretim ve atık yönetimi eğilimleri bu şekilde devam ederse, 2050 yılı itibariyle yaklaşık 12.000 Mt plastik atık, düzenli depolama sahalarında veya doğal ortamlarda birikmiş olacaktır (Geyer vd., 2017). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2016 yılında (tuik.gov.tr) belediyelerde toplanan 31,6 milyon ton atığın, %61,2'si dü-

zenli depolama tesislerine, %28,8'i belediye çöplüklerine ve %9,8'i geri kazanım tesislerine gönderilirken, %0,2'si açıkta yakılarak, gömülerek ve dereye/araziye dökerek bertaraf edilmiştir. Katı atıkların büyük bir kısmını oluşturan plastik atıklar özellikleri nedeniyle genel olarak geri dönüştürülebilir ve tehlikesiz atıklar gibi düşünülse de, mikroplastikler için öncelikli ve ekotoksikolojik mikrokirletici terimlerini kullanmak hiç de yanlış olmayacaktır. Çünkü mikropplastikler (MP) 5 mm' den küçük parçacıklardır ve bu parçacıklar besin zincirine girerek biyota açısından potansiyel risk oluşturabilmektedir (Andrady, 2011). Çevredeki mikroplastikler, kullanılan plastik ürünlerden, üretim süreçlerinden veya akarsular vasıtasıyla denizlere taşındıkları su yolları ile havadan kaynaklanabilir. Mikroplastiklerin en önemli kaynakları olarak, ambalaj malzemeleri ile yaygın kullanılan tek kullanımlık ürünlerden oluşan plastik çöpler söylenebilir. Üretim peletleri ve kozmetiklerdeki mikrobuncuklar gibi birincil mikroplastiklerin aksine, büyük plastik parçaların çeşitli etkilerle parçalanması sonucu ortaya çıkan ikincil mikroplastiklerin varlığını ve çevredeki dolaşımını ortaya koymak biraz dolaylı ve zor olabilmektedir. Örneğin çevre mühendisliği alanlarında, atıksularda, arıtma çamurlarında ve kompostlarda yüksek miktarlarda ikincil mikroplastik bulunabilmekte ve bu mikroplastiklerin kaynaklandığı yerler, boyutları, yapıları ve türleri çok farklı olabilmektedir. Esas olarak çevredeki bir kirliliği önleyebilmek için o kirliliğin kaynaklarını, miktarını, geçiş yollarını ve etkilerini bütüncül olarak ele alabilmek, kısacası yaşam döngüsünü açık bir şekilde ortaya koyabilmek önemlidir.

Karasal emisyonlar, Atıksu Arıtma Tesisleri çıkışları ile sulara aktarılanlar da dahil olmak üzere başlıca mikroplastik kaynaklarıdır. Ürün yaşam döngüsü verilerine dayanan son raporlar (Magnusson vd., 2016; Lassen vd., 2015), bazı ülkeler için ulusal mikroplastik emisyon envanterlerine ilk nicel anlayışları sunmaktadır. Önceki çalışmalarda tarım topraklarının kirlenme ölçeğini değerlendirmede hiç bir şekilde mikroplastikten bahsedilmese de artık toprakların da sentetik plastik parçacıkları ile yani mikroplastiklerle ciddi şekilde kirletilmiş olduğu açıktır (Nizzetto vd., 2016). Kentsel ve endüstriyel atıksuları taşıyan kanalizasyon sistemleri, her şehirde en az bir tane olan atıksu arıtma tesisleri, katı atık düzenli depolama tesisleri ile grisuların, arıtma çamurlarının ve kompostların tarımsal arazilere uygulamaları (Horton vd., 2017; Li vd., 2018; Tagg ve Labrenz, 2018; Weithmann vd., 2018) sonucunda aşırı miktardaki nano-ve mikroplastığın çevreye dağıtılmasına aracı olunabilmektedir.

Günümüzde çeşitli maksatlarla kullanılan ürünlerden kaynaklanan katı atıkların devasa boyutlara ulaşması konusu, yalnızca çevre kirliliğini artıran değil, bu atıkların bertarafı konusunda kesin ve sürdürülebilir çözümler getirmeyi de zorunlu kılan önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Öyle ki çevrede oluşan çöpler için önleyici ve sürdürülebilir tedbirler alınmazsa dünya uzun vadede yaşanamaz bir hale dönüşecektir. Bunun yanı sıra yalnızca atıkların kompostlanarak tarım arazilerinde kullanımı değil, yüksek miktarlarda mikro-nanoplastik içeren arıtma çamurlarının da tarım uygulamalarında kullanımı yaygındır. Mikroplastik kirliliği dikkate alındığında bu tarz arazi uygulamalarının çevreye mikroplastik yayan ciddi kaynaklar olacağı görülmektedir. Bu nedenle kompostlardaki ve arıtma çamurlarındaki mikroplastik içeriklerinin incelenmesi, belirlenmesi ve bu konularda yasal düzenlemelerin yapılması gereklidir. Bu düzenlemeler yapılırken mikroplastiklerin agroekosistemdeki maksimum miktarlarının belirlenmesi çok iyi olacaktır. Endüstriyel ölçekte hayvan gübrelerinden üretilen ve tarım arazilerinde yaygın olarak kullanılabilen kompostların tane çapı 5 mm boyutundan küçük olanları da kapsadığından dolayı, olgun kompost içerisinde mikro- ve nanoplastikler kalabilmektedir (Awasthi vd., 2016). İyi tarım uygulaması amacıyla yapılan kompost ve arıtma çamurları, çevreye mikroplastiklerin dağılmasında dikkate değer payı olan bir mikroplastik kaynağı gibidir (Verschoor vd., 2014).

Küresel olarak her yıl 0.8 ila 2.5 milyon ton mikroplastığın okyanuslara gittiği ve bunun en az 2/3' ünün çamaşır yıkama sırasında ortaya çıkan sentetik liflerden ve araç lastiklerinin yıpranıp, aşınması sırasında ortaya çıkan lastik parçacıklarından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Atık su arıtma tesislerine gelen, mikroplastiklerin % 95'inin biyoçamurlarda tutulduğu tahmin edilmektedir (Ziajahromi vd., 2016). Tutulamayan belli miktardaki mikroplastikler ise arıtılmış sulara geçmektedir. Arıtılmış atıksuyun ve biyoçamurların tarımsal sulama için ve gübre olarak kullanılması yaygın bir durum (Nizzetto vd., 2016), olduğundan tarım arazilerinde mikroplastik yükünün yüksek olması muhtemeldir. Avrupa'da, Nizzetto ve arkadaşları (2016), yılda 63.000 ila 430.000 ton mikroplastığın biyoçamurlara girdiği tahmininde bulunurken, Kuzey Amerika için tahminler yılda 44.000 ila 300.000 ton mikroplastik arasında değişmektedir. Avustralya'da ise biyoçamur kullanımına ilişkin yönetmelikleri dahilinde her yıl Avustralya tarım sistemlerine 2800 ila 19.000 ton arasında mikroplastik girdiği tahmin edilmektedir (Ng vd., 2018).

Bu kapsamda yapılacak atık yönetimi çalışmalarında, kompostlaştırma, arıtma çamuru uygulama ve düzenli depolama aşamalarının topraklara dolaşmasıyla da hava ve suya mikroplastik dağılımında önemli bir kaynak olduğu dikkate alınarak, öncelikle tek kullanımlık plastik ürünler yasaklanarak, plastik çöpler henüz mikroplastik haline dönüşmeden toplanıp mümkün olduğu ölçüde geri dönüşümünün sağlanması veya diğer bertaraf tekniklerinden yakma iyi yol olacaktır.

SONUÇ

Avrupa Parlamentosu'nda yeni alınan bir kararla, tüm AB üyesi ülkelerde 2021 yılına kadar, plastik tabak, bardak, çatal, kaşık, pipet ve benzeri tek kullanımlık ürünlerin kullanımının tamamen yasaklanacağı bildirilmiştir. Türkiye'de ise bu konuda henüz bir gelişme görülmemekle beraber en azından tek kullanımlık plastik poşetlere getirilen cüzi bir ücretlendirme politikası ile bu konuda bir bilincin oluşması sağlanarak uzun vadede çevre ve sürdürülebilirlik açısından büyük tehdit oluşturduğu bilinen plastik ürünlerin kullanımının sınırlandırılması ve özellikle tek kullanımlık plastik tüketim çılgınlığından vazgeçilmesi adına sıkı tedbirlerin alınması gerekir.

Çevreye dağılan bir mikroplastik zamanla havada veya sulara dolaşsa da, doğadaki çeşitli fizikokimyasal ve biyolojik etkileşimler sonrasında çökerek kendisini en son toprakta veya suların dip sedimentlerinde bulacaktır. Plastiklerin parçalanmasının yüzyıllar sürebildiği göz önüne alındığında, sedimentte veya toprakta çökelmiş olan plastik parçacıkların da yüzyıllar boyu orada kalacağı anlaşılabilmektedir. Bu durumda mikroplastiklerin “kalıcı kirleticiler” kapsamında dikkate alınması ve çevredeki birincil ve ikincil kaynaklarının önüne geçmeye çalışılması gerekmektedir. Çevresel kirleticileri henüz kaynağında önlemek; oluşmuş bir kirliliği gidermeye çalışmaktan daha kolay, ekonomik ve ekolojik bir davranıştır. Tabii ki bunun için gerekli bilinç ve dikkatin bulunması esastır. Tüketicilerin, her gün kullandığı malzemelerle ilgili bilinçli tercihler yapmasıyla ve tek kullanımlık kültürü terketmesiyle, çevresel açıdan topluca büyük bir fark yaratılabilir. Son yıllarda sıklıkla gündeme gelen karbon ayak izi meselesini de çözmek konusunda ciddi bir adım atmaya öncelikle “plastik ayak izi” azaltılarak başlanabilir.

Mikroplastik atıkların ekosistemde birikmiş olması bile başlıca büyük bir problemdir. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için öncelikle atık oluşturmayı azaltıp, yeni atıkların oluşmaması açısından da ciddi tedbirlerin alınması gerekmektedir. Özellikle tek kullanımlık ürünlerin kullanılmasının bırakılmasının yanı sıra her gün tonlarca üretilen sentetik tekstil malzemelerin, kıyafetlerin ve ev tekstil ürünlerinin sürdürülebilirlik değerlendirmesinde dikkate alınarak bu malzemelerin en azından daha az sentetik lif döküntüsü oluşturması yönünde çalışmaların yürütülmesi ve bu işten kazanç sağlayanların da biraz zarar etmeyi göze alması, bu konuda da gerekli yasal düzenlemelerin yapılması gerekecektir.

Bu kapsamda yapılacak atık yönetimi çalışmalarında, kompostların, arıtma çamurlarının, arıtılmış suların tarım arazilerine uygulanması ve düzenli depolama çalışmalarının, topraklara dolayısıyla da hava ve suya mikroplastik dağılımında önemli bir kaynak olduğu dikkate alınarak, bu gibi çevreyi korumak ve sürdürülebilirliği devam ettirebilmek amacıyla yapılan çevresel çalışmaların artık, atıklardaki mikroplastik parametresini de dikkate alacak hassasiyetle yapılması gerekmektedir. Böylece sürdürülebilir çevre konusuna cevap verebilecek çalışmaların yapılması ve bunların yasal düzenlemeler ve standartlar boyutunda tekrar gözden geçirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bir taraftan her şeyin çok hızlı yaşandığı plastiklerin günlük hayatta kullanımında sağladığı sayısız avantaj, diğer taraftan da çevrenin, su kaynaklarının ve bir çok canlının maruz kaldığı kirlilik insanlarda sevgi ile nefret ilişkisi geliştirmektedir. Fakat özellikle son zamanlarda insanların yediği yiyeceklere ve soluduğu havaya kadar her yerde rastlandığının kanıtlanmış olması endişe yaratıcı bir hal almıştır. Plastiklerin yarattığı kirlilikle mücadele stratejileri olarak; tekrar kullanım, ileri dönüştürme, yeşil kimya, ekolojik ürün, geri dönüşüm tasarımları, iyileştirilmiş atık yönetimi, standart etiketleme, eğitim, temizlik programları ve sürdürülebilir tüketimden bahsedilebilir. Plastikleri, sürdürülebilir malzemeler yapabilmek için ise tüm en başta üretici, kanun koyucu ve tüketici üçgeninde tüm sorumlulukların paylaşılması ve paydaşların bu konuda titizlikle hareket etmesi gerekmektedir. Çünkü bir malzemenin tasarımından, üretimine, pazarlanmasına, tüketicinin seçimine ve tüketim alışkanlıklarına, eğer üretilen malzeme çevresel bir tehdit oluşturuyorsa ve çevrede kontrolsüzce dolaşıyorsa bu konudaki kanun koyucuların yürütme ve denetlemesine, bu konuların hukuki ve yasal boyutlarına kadar tüm paydaşlar ortak sorumluluk taşımaktadır.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKÇA

Adkins, S., (2017). From Disposable Culture to Disposable People: Teaching About the Unintended Consequences of Plastics (Doctoral dissertation, Antioch University).

Anbumani, S., Kakkar, P., (2018). Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-24.

Anderson, A.G., Grose, J., Pahl, S., Thompson, R.C., Wyles, K.J., (2016). Microplastics in personal care products: Exploring perceptions of environmentalists, beauticians and students. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1): 454-460.

Andrady, A.L., (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8): 1596-1605.

Awasthi, M.K., Pandey, A.K., Bundela, P.S., Wong, J.W., Li, R., Zhang, Z., (2016). Co-composting of gelatin industry sludge combined with organic fraction of municipal solid waste and poultry waste employing zeolite mixed with enriched nitrifying bacterial consortium. *Bioresource technology*, 213, 181-189.

Bakir, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C., (2014). Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 140, 14-21.

Barnes, D.K., Galgani, F., Thompson, R.C., Barlaz, M., (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 364(1526): 1985-1998.

Besseling, E., Wang, B., Lürling, M., Koelmans, A.A., (2014). Nanoplastic affects growth of *S. obliquus* and reproduction of *D. magna*. *Environmental science & technology*, 48(20): 12336-12343.

Bråte, I.L.N., Eidsvoll, D. P., Steindal, C.C., Thomas, K.V., (2016). Plastic ingestion by Atlantic cod (*Gadus morhua*) from the Norwegian coast. *Marine pollution bulletin*, 112(1-2): 105-110.

Carr, S.A., Liu, J., Tesoro, A.G., (2016)., Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water research*, 91, 174-182.

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Galloway, T.S., (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental science & technology*, 49(2): 1130-1137.

Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., Galloway, T.S., (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental science & technology*, 47(12): 6646-6655.

Collignon, A., Hecq, J.H., Galgani, F., Collard, F., Goffart, A., (2014). Annual variation in neustonic micro-and meso-plastic particles and zooplankton in the Bay of Calvi (Mediterranean–Corsica). *Marine Pollution Bulletin*, 79(1-2): 293-298.

Corcoran, P.L., Moore, C.J., Jazvac, K., (2014). An anthropogenic marker horizon in the future rock record. *GSA today*, 24(6): 4-8.

Crespy, D., Bozonnet, M., Meier, M., (2008). 100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses. *Angewandte Chemie International Edition*, 47(18): 3322-3328. da

Costa, J.P., Santos, P.S., Duarte, A.C., Rocha-Santos, T., (2016). (Nano) plastics in the environment—sources, fates and effects. *Science of the Total Environment*, 566, 15-26.

de Lucia, G.A., Caliani, I., Marra, S., Camedda, A., Coppa, S., Alcaro, L., Campani, T., Giannetti, M., Coppola, D., Cicero, A.M., Panti, C., Bains, M., Guerranti, C., Marsili, L., Massaro, G., Fossi, M.C., Matiddi, M., (2014). Amount and distribution of neustonic micro-plastic off the western Sardinian coast (Central-Western Mediterranean Sea). *Marine environmental research*, 100, 10-16.

Desforges, J.P.W., Galbraith, M., Dangerfield, N., Ross, P.S., (2014). Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Marine pollution bulletin*, 79(1): 94-99.

Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Tassin, B., (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments. *Environmental Pollution*, 221, 453-458.

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., Tassin, B., (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment?. *Marine pollution bulletin*, 104(1-2): 290-293.

Eriksen, M., Lebreton, L. C., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borero, J. C., Reisser, J., (2014). Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PloS one*, 9(12), e111913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>.

Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., Amato, S., (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77,177-182.

Eriksen, M., Maximenko, N., Thiel, M., Cummins, A., Lattin, G., Wilson, S., Rifman, S., (2013). Plastic pollution in the South Pacific subtropical gyre. *Marine pollution bulletin*, 68(1): 71-76.

Fok, L., Cheung, P.K., (2015). Hong Kong at the Pearl River Estuary: a hotspot of microplastic pollution. *Marine pollution bulletin*, 99(1-2): 112-118.

Fossi, M.C., Coppola, D., Bains, M., Giannetti, M., Guerranti, C., Marsili, L., Clò, S., (2014). Large filter feeding marine organisms as indicators of microplastic in the pelagic environment: The case studies of the Mediterranean basking shark (*Cetorhinus maximus*) and fin whale (*Balaenoptera physalus*). *Marine environmental research*, 100, 17-24.

Frias, J.P.G.L., Nash, R., (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145-147.

Galloway, T.S., Cole, M., Lewis, C., (2017). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nature ecology & evolution*, 1(5): 0116.

Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L., (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7): e1700782.

Hartmann, N.I.B., Nolte, T., Sørensen, M.A., Jensen, P.R., Baun, A., (2015). Aquatic ecotoxicity testing of nanoplastics: lessons learned from nanoecotoxicology. In ASLO Aquatic Sciences Meeting.

Henry, B., Laitala, K., Klepp, I.G., (2019). Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. *Science of The Total Environment*, 652, 483-494.

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. *Environ. Sci. Technol.* 46, 3060–3075.

Horton, A.A., Svendsen, C., Williams, R.J., Spurgeon, D.J., Lahive, E., (2017). Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK—Abundance, sources and methods for effective quantification. *Marine pollution bulletin*, 114(1): 218-226.

Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Law, K.L., (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223): 768-771.

Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C.K., Larat, V., Galloway, T.S., Salamatinia, B., (2017). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific Reports*, 7, 46173.

Kaya, A.T., Yurtsever, M., Çiftçi Bayraktar, S., (2018). Ubiquitous exposure to microfiber pollution in the air, *Eur. Phys. J. Plus*, 133: 488.

Khan, F.R., Syberg, K., Shashoua, Y., Bury, N.R., (2015). Influence of polyethylene microplastic beads on the uptake and localization of silver in zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental pollution*, 206, 73-79.

Koelmans, A.A., Bakir, A., Burton, G.A., Janssen, C.R., (2016). Microplastic as a vector for chemicals in the aquatic environment: critical review and model-supported reinterpretation of empirical studies. *Environmental science & technology*, 50(7): 3315-3326.

Kooi, M., Van Nes, E. H., Scheffer, M., Koelmans, A.A., (2017). Ups and downs in the ocean: Effects of biofouling on the vertical transport of microplastics. *Environmental Science & Technology*.

Kosuth, M., Mason, S.A., Wattenberg, E.V., (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PloS one*, 13(4): e0194970.

Lassen, C., Hansen, S.F., Magnusson, K., Hartmann, N.B., Jensen, P.R., Nielsen, T.G., Brinch, A., (2015). Microplastics: occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark.

Lebreton, L.C., Van der Zwet, J., Damsteeg, J.W., Slat, B., Andrady, A., Reisser, J., (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature communications*, 8, 15611.

Li, X., Chen, L., Mei, Q., Dong, B., Dai, X., Ding, G., Zeng, E.Y., (2018). Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. *Water research*, 142, 75-85.

Lusher, A.L., Burke, A., O'Connor, I., Officer, R., (2014). Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: validated and opportunistic sampling. *Marine pollution bulletin*, 88(1): 325-333.

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): 1346-1360.

Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Voisin, A., (2016). Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment. IVL Svenska Miljöinstitutet: Stockholm, Sweden.

Mason, S.A., Welch, V.G., Neratko, J., (2018). Synthetic polymer contamination in bottled water. *Frontiers in chemistry*, 6.

Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., Kaminuma, T., (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment", *Environmental Science&Technology*, 35(2): 318-324.

Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., Quinn, B., (2016). Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental science & technology*, 50(11): 5800-5808.

Ng, E.L., Lwanga, E.H., Eldridge, S.M., Johnston, P., Hu, H.W., Geissen, V., Chen, D., (2018). An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of the Total Environment*, 627, 1377-1388.

Nizzetto, L., Futter, M., Langaas, S., (2016). Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin?, *Environ. Sci. Technol.*, 10777-10779.

Peng, X., Chen, M., Chen, S., Dasgupta, S., Xu, H., Ta, K., Bai, S., (2018). Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean. *Geochemical Perspectives Letters*, 9, 1-5.

Rochman, C.M., Kross, S.M., Armstrong, J.B., Bogan, M.T., Darling, E.S., Green, S.J., Veríssimo, D., (2015). Scientific evidence supports a ban on microbeads. *Environ. Sci. Technol.*, 49(18): 10759-10761.

Schneiderman, E.T., (2015). Discharging Microbeads to our Waters: An Examination of Wastewater Treatment Plants in New York, New York State Office of the Attorney General. Environmental Protection Bureau, 1-11.

Tagg, A.S., Labrenz, M., (2018). Closing Microplastic Pathways Before They Open: A Model Approach.

Teuten, E.L., Rowland, S.J., Galloway, T.S., Thompson, R.C., (2007). Potential for plastics to transport hydrophobic contaminants. *Environmental science & technology*, 41(22): 7759-7764.

Van Cauwenberghe, L., Claessens, M., Vandegehuchte, M.B., Janssen, C.R., (2015). Microplastics are taken up by mussels (*Mytilus edulis*) and lugworms (*Arenicola marina*) living in natural habitats. *Environmental Pollution*, 199, 10-17.

Verschoor, A.J., (2015). Towards a definition of microplastics. Considerations for the specification of physico-chemical properties. RIVM Letter report, 116.

Verschoor, A., de Poorter, L., Roex, E., Bellert, B., (2014). Quick scan and prioritization of microplastic sources and emissions. RIVM letter report 2014-0156.

Wagner, M., Lambert, S., (Eds.). (2017). *Freshwater Microplastics: Emerging Environmental Contaminants?* (Vol. 58). Springer.

Wang, Z., Su, B., Xu, X., Di, D., Huang, H., Mei, K., Shang, X., (2018). Preferential accumulation of small (< 300 µm) microplastics in the sediments of a coastal plain river network in eastern China. *Water research*, 144, 393-401.

Waring, R.H., Harris, R.M., Mitchell, S.C., (2018). Plastic contamination of the food chain: A threat to human health?. *Maturitas*.

Watson, R.T., Boudreau, M.C., Chen, A.J., (2010). Information systems and environmentally sustainable development: energy informatics and new directions for the IS community. *MIS quarterly*, 23-38.

Weithmann, N., Möller, J.N., Löder, M.G., Piehl, S., Laforsch, C., Freitag, R., (2018). Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. *Science advances*, 4(4): eaap8060.

Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S., (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483-492.

Wu, W.M., Yang, J., Criddle, C. S., (2017). Microplastics pollution and reduction strategies. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(1): 6.

Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., Kolandhasamy, P., (2015). Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental science & technology*, 49(22): 13622-13627.

Yurtsever, M., (2018). Abiyotik bir su ürünü olan sofrta tuzunda mikroplastik kirliliği tehlikesi. *Su Ürünleri Dergisi*, 35(3): 243-249

Yurtsever, M., Yurtsever, U., (2019). Use of a convolutional neural network for the classification of microbeads in urban wastewater, *Chemosphere*, 216, 271-280.

Zalasiewicz, J., Waters, C.N., do Sul, J.A.I., Corcoran, P.L., Barnosky, A.D., Cearreta, A., McNeill, J., R., (2016). The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. *Anthropocene*, 13, 4-17.

Ziajahromi, S., Kumar, A., Neale, P.A., Leusch, F.D., (2017). Impact of microplastic beads and fibers on waterflea (*Ceriodaphnia dubia*) survival, growth, and reproduction: Implications of single and mixture exposures. *Environmental science & technology*, 51(22): 13397-13406.

İNTERNET KAYNAKLARI

<http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=27685> Erişim Tarihi: 10 Ekim 2018.

<https://ourworldindata.org/plastic-pollution> Erişim Tarihi: 10 Ekim 2018.

<https://www.greenpeace.org/eu-unit/issues/pollution/1783/eu-cuts-single-use-plastics/> Erişim Tarihi: 19 Aralık 2018.

<https://www.theguardian.com/environment/2018/dec/15/legal-plastic-content-in-animal-feed-could-harm-human-health-experts-warn> Erişim Tarihi: 15 Aralık 2018.

<https://www.theguardian.com/environment/2018/jan/09/plastic-microbeads-ban-enters-force-in-uk>

Erişim Tarihi: 10 Şubat 2018.