

Plastik Kirliliği

Plastik kirliliği çağımızın en önemli çevre sorunlarından biri. Bugün okyanusların en derin bölgelerinden en yüksek dağların zirvelerine kadar her yerde atık plastıklere rastlamak mümkün. Sorunun çözümü için gösterilen çabalar olsa da yakın gelecekte plastik kirliliğinin giderek büyüyeceği öngörülüyor.

Plastikler

Plastikler, polimer türünden organik bileşiklerdir. Tüm polimerler gibi tekrar eden birimlerden oluşurlar, ana iskeletlerini karbon atomları meydana getirir. Kaçuk ve ipek doğal plastiklerin örneklerindedir. Günlük hayatta adını sıklıkla duyduğumuz PET ve PVC gibi plastiklerse insanlar tarafından tasarlanıp üretilir.

Plastikler, çoğunlukla petrol türevi malzemeler kullanılarak sentezlenir. Maliyetleri düşüktür, hafif ve dayanıklıdır; kolaylıkla işlenebilir ve kalıba dökülebilirler. Günümüzde inşaattan tekstile, elektronikten ulaşıma kadar hemen hemen her alanda plastikler kullanılıyor.

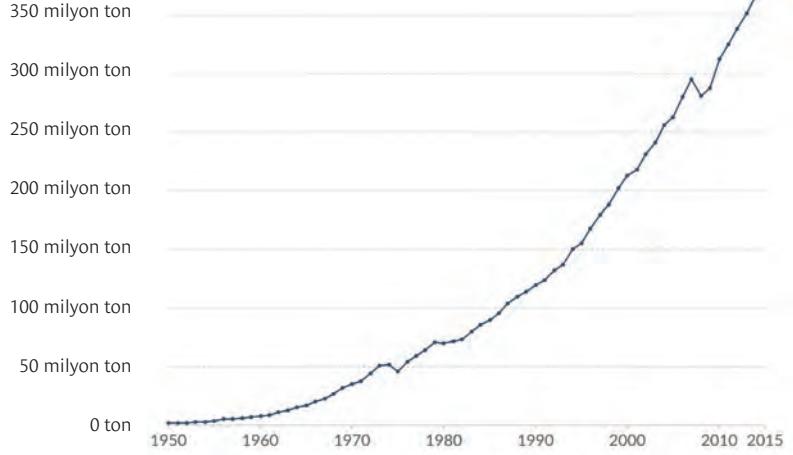
Geçmişten Bugüne Plastik Üretimi

İlk sentetik plastik olan bakalit 1907 yılında üretilmişti. Ancak plastiklerin günlük hayatta yaygınlaşması 1950'lerden sonradır.

1950'de yaklaşık 2 milyon ton plastik üretilmişti. Aradan geçen 70 yılda, finansal krizlerin yaşandığı birkaç kısa dönem haricinde, yıllık üretim devamlı arttı ve yaklaşık 200 katına çıktı. 2015 yılında üretilen 381 milyon ton plastiğin kütlesi yaşayan insanların

1950'den 2015'e Plastik Üretimi

1950-2015 döneminde tüm dünya genelinde bir yıl içinde üretilen toplam plastik miktarları.



Geyer ve ark. (2017)

kinin üçte ikisi kadar. 2015 yılına kadarki toplam plastik üretimiye yaklaşık 7,8 milyar ton. Bu durum bugün hayatta olan her bir insana karşılık 1 tondan fazla plastik üretildiği anlamına geliyor.

Hangi sektörlerde ne kadar plastik kullanıldığına bakıldığında en çok plastik kullanılan alanın paketleme endüstrisi olduğu görülüyor. Yıllık birincil (ilk kez kullanıma giren) plastik üretiminin %40'ından fazlası yiyecekleri, içecekleri, şampuanları, deterjanları ve diğer ürünleri paketlemekte kullanılıyor. Birincil plastiklerin en çok kullanıldığı sektörlerin ikinci ve üçüncü sırasındaysa inşaat ve tekstil var. Bu iki sektörün her biri toplam birincil üretimin yaklaşık %15-20 kadarını kullanıyor.

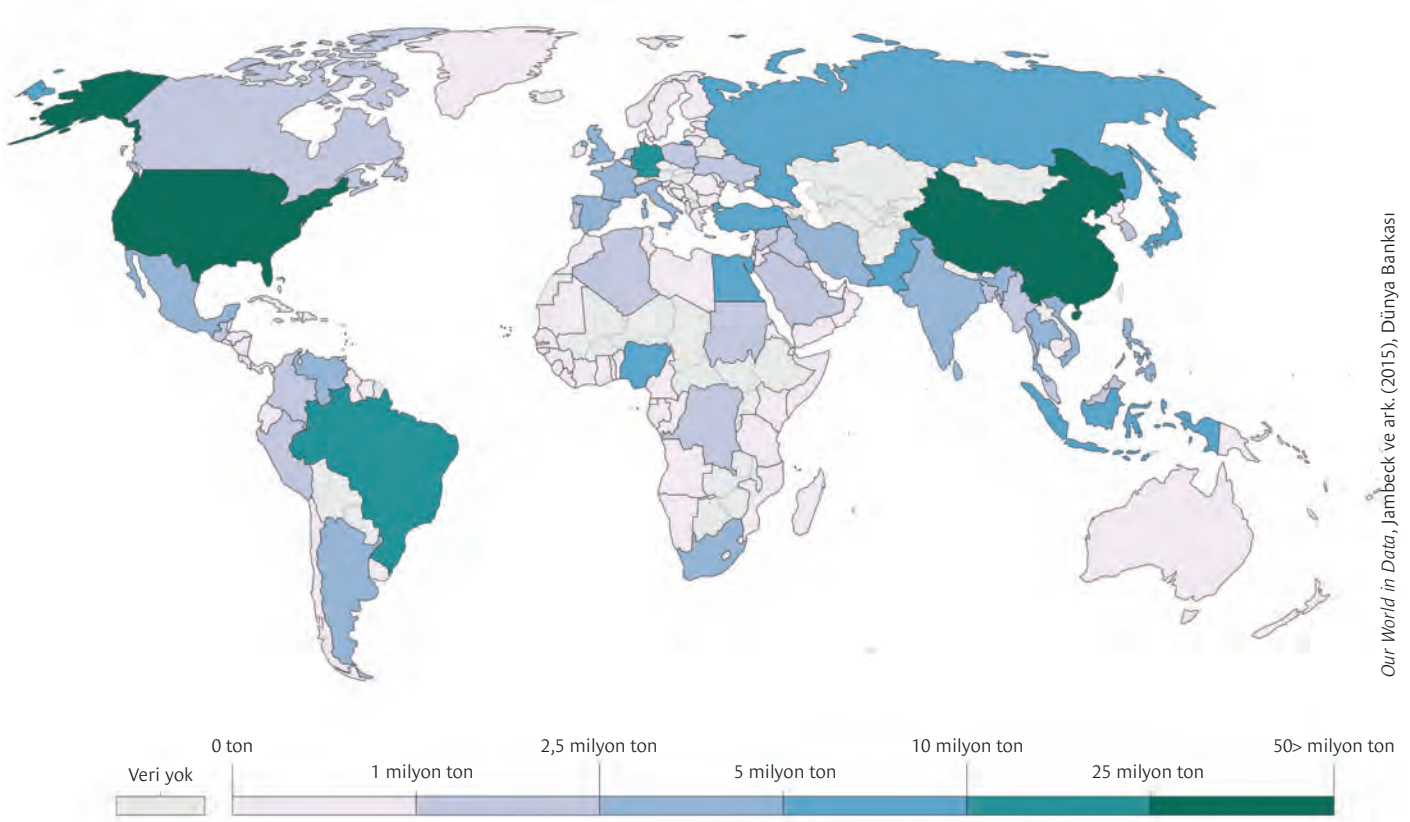
Atık Plastiklerin Çevreye ve Canlılara Zararları

Plastiklerin canlılara ve çevreye zararlarına dair çalışmaların tarihi 1980'lere kadar gider. Ancak bugün hâlâ konunun tüm boyutlarıyla bilinmediği düşünülüyor.

Öncelikle şunu belirtelim ki plastiklerin insanların ve diğer canlıların sağlığını tehdit etmesi için önce atık hâline gelmesi gerekmiyor. Plastikleri yumuşatmak ve daha kolay şekillendirilebilir hâle getirmek için kullanılan çeşitli katkı maddelerinin insan sağlığına zararlı olduğu biliniyor. Örneğin PVC bugüne kadar üretilmiş en tehlikeli ürünlerden biri olarak görülüyor. PVC

Plastik Atık Üretimi, 2010

Ülkelerin ürettiği toplam plastik atık miktarı. Bu grafikte çevreyi kirletme riski olan plastik atık miktarlarıyla ilgili değil herhangi bir işlemden geçirilmeden önceki plastik atık miktarlarıyla ilgili bilgiler yer alıyor.



üretiminde kullanılan DEHP ve BbzP gibi katkı maddeleri endokrin sistemine zarar verir, astım ve çeşitli alerjilerle bağlantılıdır, bazı kanser türlerine sebep olabilir ve akciğer, böbrek gibi organlar üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bu ve benzeri etkilere sahip diğer katkı malzemelerinin plastiklerden hava ve suya sızması insanların ve diğer canlıların sağlığı açısından büyük bir tehdittir.

Atık plastikler yaban hayatına üç yolla zarar verebilir: canlılara dolaşarak hareketlerini engelleyerek, canlılar tarafından yutulmuş ve çarpma, engelleme gibi biçimlerde canlılarla etkileşerek.





Bugüne kadar 300'den fazla türün plastiklere dolanarak zarar gördüğü biliniyor. Bunlar arasında deniz kaplumbağası türlerinin tamamı, fok türlerinin üçte ikisi, balina türlerinin üçte biri ve deniz kuşu türlerinin dörtte biri var. 100'e yakın balık ve omurgasız türünün de plastiklere dolandığı kayıtlara geçmiş durumda. Bu canlıların en çok dolandığı plastikler arasında, atık ipler, balık ağları, olta takımları ve paketlenme ürünleri var.

Canlılar bilerek ya da bilmeyerek plastikleri yutarlar. Ayrıca avcı türler avladıkları canlılar vasıtasıyla dolaylı olarak da plastik yutabilirler. Bugüne kadar plastik yuttuğu tespit edilen deniz canlısı türlerinin sayısı 200'ün üzerinde. Bu türler arasında tüm deniz kaplumbağası türleri, fok türlerinin üçte biri, balina ve deniz kuşu türlerinin yaklaşık %60'ı var. Ayrıca bugüne ka-

dar 90'ın üzerinde balık türünün ve bazı omurgasızların da plastik yuttuğu tespit edildi.

Canlılar tarafından yutulan plastiklerin büyüklüğü doğal olarak değişiyor. İstiridye ve midye gibi minik canlılar daha çok plastik iplikçikler gibi ufak şeyleri yutuyor. Balıklar gibi daha büyük canlılar tarafından yutulan plastikler arasındaysa plastik filmler, sigara ambalajları, çakmak ve pet şişe gibi ürünler var. Plastiklerin canlılar tarafından yutulmasına dair kayıtlara geçmiş en uç örnekler ispermeçet balinalarında rastlanıyor. 9 metre uzunluğunda ip, 4,5 metre uzunluğunda boru, 2 saksı yutmuş ispermeçet balinaları bulundu.

Plastikleri yutan canlıların midelerinin kapasitesi azalıyor ve sahte bir doyumluk hissine kapılıyorlar.

Yutulan plastikler polimer yapısında oldukları için sindirilemiyorlar. Ancak plastikten sızan çeşitli toksik moleküller kana karışıp özümsebiliyor. Plastikler canlıların sindirim organlarına zarar verebiliyor, hatta organlarını delebiliyor. Bu durumlar bazen ölümle sonuçlanıyor.

Plastiklerin yutulması ile ilgili bir diğer tehlike, toksik maddelerin plastiklerin yüzeyinde birikebilmesi. Örneğin bir balığın yaşadığı sulardaki toksik madde miktarı tehlikeli düzeyde olmasa bile, bu toksik maddeler zamanla plastiklerin yüzeyinde birikerek canlıların sağlığını tehdit edebilecek düzeye gelebiliyor. Plastiğin yüzeyinde biriken toksik maddenin derişimi, içinde bulunduğu sudaki derişimin bir milyon katına bile çıkabiliyor.

Söz konusu insanlar olduğunda, saksı ya da hortum yutan insanlara pek rastlanmıyor. Ancak insanlar da içtikleri sular ve soludukları hava vasıtasıyla doğrudan ya da beslendikleri canlılar yoluyla dolaylı olarak mikroplastikler (çapı 5 milimetreden küçük plastik parçaları) yutuyorlar. Bu plastiklerin kendileri, üzerlerinde biriken toksik maddeler ya da yaydıkları zararlı katkı maddeleri insanların sağlığını tehdit edebilir. Ancak bugün insanların ne ölçüde mikroplastiklere maruz kaldığı ve bu mikroplastiklerin insan sağlığı üzerindeki etkileri hakkında fazla bir şey bilinmiyor. Büyük olasılıkla bu mikroplastikler sindirim sisteminin bir ucundan girip diğerinden çıktı-

yor olabilirler. Kuzey Denizi'ndeki balıklar üzerinde yapılan bir çalışmada, vücudunda mikroplastik tespit edilen balıkların %80'inde sadece bir parça mikroplastığe rastlandı.

Mikroplastikler küçük oldukları için üzerlerinde tehlikeli olabilecek miktarda toksik madde biriktirmeleri zor. Ancak besin zincirinde yukarılara çıkıldıkça canlıların vücudunda biriken toksik madde miktarı da giderek artabilir ve tehlikeli boyutlara ulaşabilir. Yine de mikroplastikler nadiren ölümcül olabiliyor. Bazı bilimsel çalışmalar sırasında mikro boyutlarda PVC'ye maruz bırakılan midyelerin öldüğü gözlemlenmiş olsa da bu çalışmalar sırasında canlıların maruz bıraktığı mikroplastik miktarı doğada karşılaşılabilecek düzeylerin çok üzerindeydi.

Diğer yandan, plastiklerin çarpma ya da engelleme yoluyla canlılara zarar verdiğine de rastlanıyor. Örneğin mercanlara çarpıp zarar veren olta takımları var.



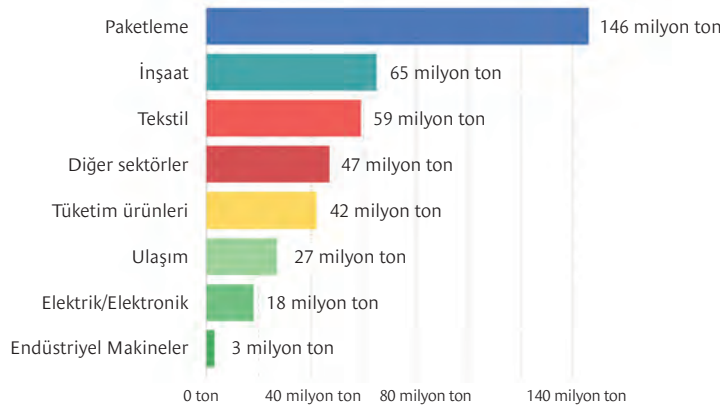
Plastik Kirliliğinin Boyutları

Kauçuk, ipek gibi plastikler doğada bol miktarda bulunur. Ancak bu doğal plastikler, doğada birikecek çevre kirliliğine sebep olmazlar. Sentetik plastiklerin çok büyük bir kısmıysa mikroorganizmalar tarafından parçalanamaz ve çevre kirliliğine sebep olurlar.

1950-2015 arasındaki plastik üretimine bakıldığında, toplamda 8,3 milyar ton polimer, sentetik fiber ve katkı maddesi üretildiği görülür. Üretilen birincil plastiklerin 2,5 milyar tonu hâlâ kullanımda. Atık plastiklerin 700 milyon tonu yakıldı, 500 milyon tonu geri dönüştürüldü, 4,6 milyar tonu ya hiç toplanmadan çevreye saçıldı ya da hiçbir işlemle geçirilmeden çöplüklere gönderildi. Geri dönüştürülen 500 milyon ton plastiğin 100 milyon tonu bugün kullanımda, 100 milyon tonu yakıldı, 300 milyon tonuysa ya bilinçsizce etrafa saçıldı ya da hiçbir işlemle geçirilmeden çöplüklerde biriktirildi.

Plastik üretimi ve kullanımı arttıkça atık hâline gelen plastiklerin miktarı da doğal olarak yıldan yıla artıyor. Hatta bazı yıllar atık plastiklerin miktarının birincil üretim miktarını geçtiği bile oluyor. Örneğin 2010 yılında üretilen birincil plastik miktarı 270 milyon ton iken, atık hâline gelen plastik miktarı 275 mil-

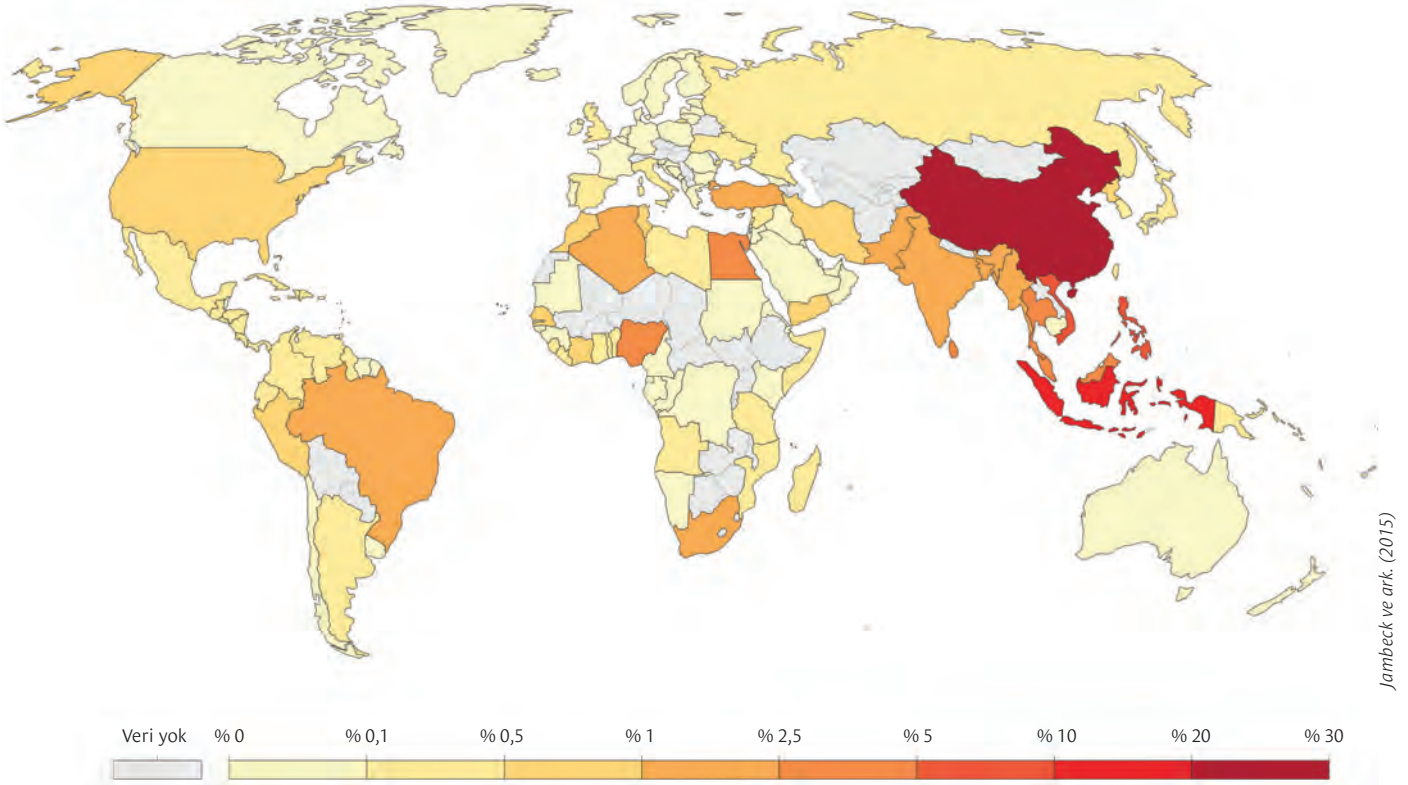
Sektörlere Göre Birincil Plastik Üretimi, 2015



Ceylan ve ark. (2017)

İyi İdare Edilmeyen Atıklar, 2010

İyi idare edilmeyen atıkların ülkelere göre dağılımı. İyi idare edilmeyen atıklar, bilinçsizce çevreye saçılan atıkların yanı sıra hiçbir işlemten geçirilmeden açık ortamlarda biriktirilen atıkları da kapsıyor.



yon tondu. Daha önceki yıllarda üretilip atık hâline gelen plastikler sebebiyle atık miktarı üretim miktarını geçmişti.

Hangi sektörün ne kadar atık plastik ürettiğine bakıldığında birinci sırada yine paketlenme endüstrisinin olduğu görülüyor. Paketlenme için üretilen birincil plastiklerin ortalama kullanım ömrü altı ay ya da daha azdır. Bu plastiklerin büyük kısmı üretilmelerinin üzerinden bir yıl bile geçmeden atığa dönüşüyor. 2015 yılındaki 302 milyon ton atık plastiğin 146 milyon tonunun kaynağı paketlenme ürünleriydi. Kriter olarak kullanıma bakıldığında ikinci sırada yer alan inşaat sektörü ise atık plastik üretme bakımından en son sıra-

larda yer alıyor. Bu durumun nedeni inşaatlarda kullanılan plastiklerin ortalama kullanım ömrünün uzun olması. Bu plastikler atık hâline gelmeden önce ortalama 35 yıl kullanılıyor. En çok atık plastik üreten sektörlerin ikinci sırasında tekstil var. 2015 yılındaki atık plastiklerin 42 milyon tonundan fazlasının kaynağı tekstil ürünleriydi.

1980'lerden önce plastikler yakılmıyor ya da geri dönüştürülüyor. Atık plastiklerin tamamı ya çöplüklerde biriktiriliyor ya da hiç toplanmadan çevreye saçılıyordu. Atık plastiklerin yakılma oranı 1980'lerden beri, geri dönüştürülme oranı da 1990'lardan beri her yıl yaklaşık %0,7 oranında artıyor. 2015 yılında

atık plastiklerin %25'i yakılmış, %20'si geri dönüştürülmüştü. Yakma ve geri dönüştürme oranlarındaki artışın aynı biçimde devam etmesi durumunda, 2050 yılına gelindiğinde atık plastiklerin %50'sinin yakılacağı, %44'ünün de geri dönüştürüleceği tahmin ediliyor.

Kişi başı plastik atık miktarına bakıldığında yüksek gelirli ülkelerdeki insanların daha çok atık ürettiği görülüyor. Kuveyt, Almanya, Hollanda ve İrlanda gibi ülkelerde yaşayan bir insanın ürettiği ortalama atık plastik miktarı Tanzanya, Mozambik, Hindistan ve Bangladeş gibi ülkelerdeki atık miktarının on katından fazladır.

Üretilen atık miktarına ülkeler bazında bakıldığında en çok atık üreten ülkeler arasında ilk sıralarda Çin, ABD, Almanya ve Brezilya var. Bu ülkelerin 2010 yılındaki toplam plastik atık üretimi sırasıyla 60, 38, 14,5 ve 12 milyon ton.

Söz konusu olan kirlilik olduğunda, önemli olan bir ülkenin toplam atık üretimi ya da o ülkedeki insanların kişi başı atık üretimi değil bu atıkların ne kadarının çevre ve sağlık açısından tehlike arz ettiğidir. Konuya bu açıdan bakıldığında plastik kirliliğinde büyük payı olan ülkelerin gelişmekte olan orta gelirli ülkeler olduğu görülür. Fakir ülkelerin plastik kirliliğindeki payları azdır. Çünkü kişi başı atık miktarı düşüktür. Zengin ülkelere kişi başı atık miktarı fazla olmasına rağmen atıkları toplamada, güvenli bir biçimde depolamada, işlemede ve geri dönüştürmede gayet başarılıdurlar. Plastik kirliliğinde büyük payı olan ülkeler, üretimin hızla artmakta olduğu ancak atık toplama, depolama, işleme ve geri dönüştürme sistemlerinin gelişmemiş olduğu ülkelerdir. Bugün Avrupa'nın büyük bir kısmında, Kuzey Amerika'da ve ayrıca Avustralya, Yeni Zelanda, Japonya ve Güney Kore gibi ülkelerde toplanan atıklar yakılmasa ya da geri dönüştürülme bile güvenli ve kapalı ortamlarda depolanıyor. Böylece atık plastiklerin ve bu plastiklerden sızan toksik maddelerin çevreye yayılması engelleniyor. Bu ülkelerde çevre için tehlike arz eden plastik atık miktarı yok denecek kadar az. Güney Asya'da ve Afrika'da Sahra Çölü'nün güneyinde kalan kısım-



lardaysa düzgün idare edilemeyen plastik atıkların toplam plastik atıklar içindeki oranı %80-90'lara çıkıyor. Yakılmayan, geri dönüştürülmeyen, açık havada tutulan bu atıklar çevre için büyük risk oluşturuyor. Tüm dünya genelindeki bir sorunsu kullanım ömrünü doldurmuş plastiklerin çöplere atılmayarak bilinçsizce çevreye saçılması. Bilimsel çalışmalar zengin ya da fakir tüm ülkelerde atık plastiklerin %2'sinin rastgele etrafa saçıldığını gösteriyor.

İyi idare edilemeyen atıkların dünyadaki dağılımına bakıldığında birinci sırada %60 gibi çok yüksek bir oranla Doğu Asya ve Pasifik'in yer aldığı görülür. Daha sonra sırasıyla %11 ile Güney Asya, %9 ile Sahra Altı Afrika, %8,3 ile Orta Doğu ve Kuzey Afrika, %7,2 ile Latin Amerika, %3,6 ile Avrupa ve Orta Asya, %1 ile Kuzey Amerika geliyor.

Sonuç olarak plastik kirliliğinin önlenmesi açısından en önemli şey, ne kadar atık plastik olduğu değil, bu atıkların ne ölçüde iyi yönetildiğidir.

Mikroplastikler

Mikroplastikler, boyutları 5 milimetreden daha küçük olan plastiklerdir. Mikroplastiklerin kaynağı kozmetik ürünleri, kumaşlar ya da endüstriyel süreçler olabilir.

Mikroplastiklerin bazıları birincildir, bilinçli olarak bu şekilde üretilirler. Bu mikroplastiklerin kullanıldığı ürünler arasında kozmetik ürünleri ve yüz temizleyiciler yer alır. Ayrıca mikroplastiklerin tıpta ilaçların dokulara aktarılmasında taşıyıcı olarak kullanıldığı bilimsel çalışmalar da vardır.



Bazı mikroplastikler ise daha büyük plastiklerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenlere maruz kalarak parçalanmasıyla ortaya çıkar.

Plastiklerin parçalanarak ufalması canlılar tarafından yutulması ve vücutlarında birikmesi olasılığını artırır. Okyanuslarda güneş ışığı ve tuzlu suyun etkisiyle kırılma hızı artan plastikler parçalandığında ufak balıklar ve hatta zooplanktonlar tarafından bile yutulabilecek kadar küçük plastik parçaları ortaya çıkar. Bugüne kadar denizlerde yaşayan 100'ü aşkın türde mikroplastikler tespit edildi. Bu canlıların bazıları okyanusların en derinlerindeki çukurlarda yaşıyor.

Bilimsel çalışmalar derin denizlerdeki akıntıların mikroplastiklerin okyanusların belirli bölgelerinde birikmesine neden olduğunu gösteriyor. Örneğin İtalya yarımadasının batısındaki Tiren Denizi'nde metrekarede 2 milyon civarı mikroplastik bulunan bir bölge keşfedildi.

Bugüne kadar okyanuslarda tespit edilen en küçük mikroplastik 1,6 mikrometre çapındaydı. Ancak mikroplastiklerin daha da ufak parçalara bölünmesinin mümkün olduğu düşünülüyor.

Denizlerdeki Kirlilik

Plastik kirliliği karalarda pek çok soruna sebep olur. Atık plastikler kanalizasyonları tıkararak sellere yol açar, yabani hayvanlar besin zannettikleri plastikleri yutarlar. Ancak plastik kirliliği ile ilgili asıl büyük sorun karalardan çok denizlerdeki.

Herhangi bir karasal bölge dere, çaylar, nehirler ve yer altı suları vasıtasıyla eninde sonunda denizlerle bağlantılıdır. Bu yüzden karalardaki plastik kirliliğinin önemli bir kısmı bir süre sonra denizlere ve okyanuslara karışır. Bu plastiklerin büyük çoğunluğu çöplere atılmadan rastgele etrafa saçılan atıklardır.

2015 yılında bir grup araştırmacının *Science*'ta yayımladığı bir çalışmaya göre, her yıl 8 milyon ton plastik okyanuslara karışıyor. Üstelik bu rakamın giderek artacağı tahmin ediliyor. Kıyı bölgelerinde büyük nüfuslara sahip pek çok ülkenin, plastik atıkları iyi idare edemeyen ülkeler olması da okyanuslardaki kirlilik sorununu daha da büyütüyor.

2010 yılında dünya genelinde üretilen toplam plastik atık miktarı 275 milyon tondur. Bu atıkların yaklaşık 99,5 milyon tonu sahillere 50 kilometreden daha yakın bölgelerdeydi. Okyanus sularına karışma ihtimali daha yüksek olan bu atıkların iyi idare edilemeyen kısmı yaklaşık 31,9 milyon tondur. Her yıl okyanuslara karışan 8 milyon ton atık bu rakamın dörtte birine, dünyadaki toplam atık plastik miktarının yaklaşık %3'üne denk geliyor.



Okyanuslardaki plastik kirliliğinin kaynağı sadece karalar değildir. Bugün okyanuslardaki plastik kirliliğinin %20-30'luk kısmını denizciler ve balıkçılar tarafından doğrudan denize bırakılan balık ağıları, olta takımları, ipler ve diğer plastikler oluşturuyor.

Karalardaki atık plastikler çeşitli yollarla denizlere taşınabilir. Bu yolların en önemlilerinden biri nehirlerdir. İyi idare edilemeyen atık plastiklerin büyük çoğunluğu Doğu ve Güney Asya'da olduğu için okyanuslara en çok atık plastik taşıyan nehirler de doğal olarak bu bölgelerde yer alıyor. İlk sırada 6300 kilometrelik uzunluğuyla Asya'nın en uzun nehri unvanına sahip olan Çin'deki Yangtze Nehri var. Her yıl 333.000 ton atık plastiği Pasifik Okyanusu'na taşıyor. İkinci sırada ise Hindistan ve Bangladeş'in içinden geçip Hint Okyanusu'na dökülen Ganj Nehri var. Her yıl karalardan topladığı 115.000 ton atık plastiği Bengal Körfezi'ne boşaltıyor.

Asya'daki nehirlerin okyanuslara taşıdığı atık plastiğin tüm dünya genelinde nehirler tarafından okyanuslara taşınan atık plastik içindeki payı yaklaşık %86. Daha sonra sırasıyla %7,8 ile Afrika'daki ve %4,8 ile Güney Amerika'daki nehirler geliyor. Orta ve Kuzey Amerika, Avrupa, Avustralya-Pasifik bölgelerindeki nehirlerin toplam payı ise %1'den daha az.

Bugün okyanuslarda ne kadar plastik var? Plastiklerin büyük çoğunluğu hafif ve su üzerinde yüzebilen nesnelere. Dolayısıyla okyanuslara karışan plastiklerin büyük çoğunluğunun bugün yüzey sularında olmasını beklersiniz. Eğer her yıl 8 milyon ton plastik okyanus sularına karışıyorsa bugün yüzey sularında yüz milyonlarca ton atık plastik olmalıdır. Ancak 2014 yılında yayımlanan bir çalışmaya göre, okyanus sularında yüzen plastiklerin toplam kütlesi 300 bin ton bile değil. Peki öyleyse geriye kalan milyonlarca ton plastiğe ne oldu? Bu soru kayıp plastik problemi olarak anılıyor.

Kayıp plastik problemi için öne sürülmüş çeşitli düşünceler var. İlk olarak gözlemlenen durum ölçümlerdeki hatalardan kaynaklanıyor olabilir. Okyanuslara karışan plastik miktarı gerçekte olduğundan daha fazla ya da yüzey sularındaki plastik miktarını gerçekte olduğundan daha düşük tahmin ediliyor olabilir. Ancak kullanılan yöntemlerdeki hata payları göz önüne alındığında bu durum pek olası görülüyor. İkinci olarak morö-

tesi ışınların ve dalgaların büyük plastikleri birkaç sene içinde parçalayıp mikroplastiklere düşürdüğü ve bu ufak parçaların büyüklere kıyasla daha kolay bir biçimde deniz tabanlarına gömüldüğü ya da organizmalar tarafından yutulduğu öne sürülüyor. Bilimsel çalışmalar da okyanusların tabanlarındaki tortularda yüzey sularında olduğundan çok daha fazla plastik olduğunu gösteriyor. Üçüncü bir açıklama ise okyanus sularına karışan atık plastiklerin büyük çoğunluğunun açık denizlerde değil kıyı şeritlerinde olduğu. 2019 yılında yayımlanan bir bilimsel çalışmaya göre, kıyı bölgelerindeki sularda yüzen ya da topraklara gömülmüş 122 milyon ton plastik var. Bu plastiklerin 82 milyon tonunu makroplastikler, 40 milyon tonunu ise mikroplastikler oluşturuyor. Aynı çalışmaya göre, kıyı bölgelerindeki makroplastiklerin büyük çoğunluğunu son 15 yıl içinde üretilmiş plastikler oluştursa da azımsanamayacak miktarda makroplastik daha eski. Söz konusu açık denizler olduğundaysa, 1950'lerden ve 1960'lardan kalma makroplastiklere bile rastlamak mümkün. Bu sonuçlar makroplastiklerin morötesi ışınlar ve dalgalar tarafından birkaç sene içinde mikroplastiklere dönüştürüldüğünü öne süren hipotezi yanlışlıyor. Okyanus sularına karışan plastiklerin önemli bir kısmı sahil şeritlerindeki topraklara gömüldükten yıllar sonra yeniden yüzeye çıkıp açık denizlere doğru yol almaya başlayabiliyor.

Bugün okyanuslardaki yüzey sularında 5 trilyondan fazla plastik parçasının yüzdüğü tahmin ediliyor. Bunların büyük çoğunluğu mikroplastikler olsa da makroplastiklerin toplam kütlesi mikroplastiklerinkinden fazla.

Okyanuslardaki Çöplükler

Kaliforniyalı denizci, çevreci ve araştırmacı Charles Moore 1997 yılında katıldığı bir yelken yarışından dönerken normal rotasından sapıp Pasifik Okyanusu'nda biraz gezme-ye karar verir. Doldrums diye adlandırılan, az rüzgâr aldığı için denizcilerin pek geçmediği bir bölgeye gelir ve gördüğü manzara karşısında şok olur. Dört bir yanı şampuan kutuları, sabun şişeleri, poşetler ve balıkçılık ekipmanlarıyla doludur. Karalardan ve insanlardan uzak bu yere bu kadar plastik nasıl gelmiş olabilirdi?

Yüksek basınç sistemlerinin sebep

olduğu hava akımları okyanuslarda girdap biçimli akıntıların ortaya çıkmasına sebep olur. Dünya genelinde beş ana okyanus akıntısı vardır: Kuzey ve Güney Pasifik Tropik Altı Girdapları, Kuzey ve Güney Atlantik Tropik Altı Girdapları ve Hint Okyanusu Tropik Altı Girdabı. Okyanuslarındaki yüzey sularının %40'ı başka bir deyişle yeryüzünün %25'i orta enlemlerde yer alan bu girdapların içinde kalır.

Okyanus sularına karışan plastikler bir kez girdaplara kapıldıktan sonra akıntıyla beraber girdabın merkezine doğru sürüklenmeye başlar. Bu durum okyanuslardaki plastik kirliliğinin önemli bir kısmının girdaplarda birikmesine sebep olur. Okyanuslardaki çöplüklerin en bilineni ve üzerine en çok çalışmalar yapılanı Kuzey Pasifik Çöplük Bölgesi'dir. Kaptan Moore'un keşfettiği, bugün Doğu Çöplük Bölgesi olarak anılan çöplük de bu devasa çöplüğün doğu kısmını oluşturur.

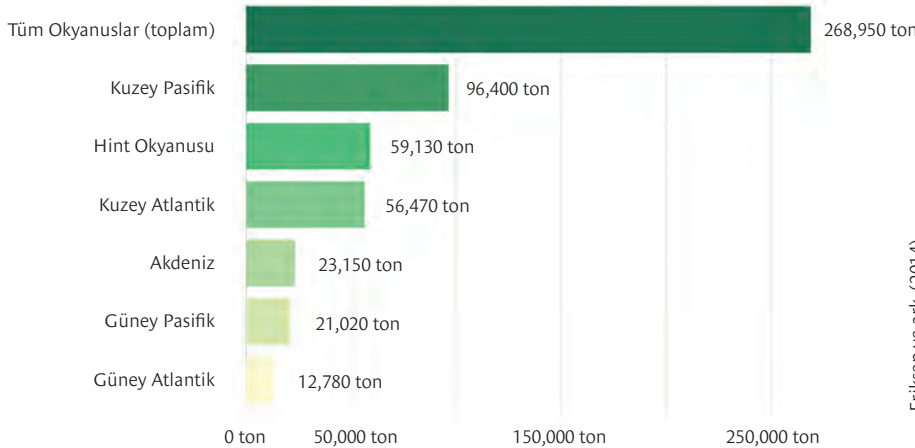
Kuzey Amerika'nın Pasifik sahillerininin 1600 kilometre ötesinden başlayıp batı yönünde yüzlerce kilometre uzanan Büyük Pasifik Çöplük Bölgesi (BPÇB) tahminlere göre toplamda 1,6 milyon kilometre karelik bir alana yayılıyor. Bu durum Kuzey Pasifik'teki okyanus çöplüğünün İspanya'nın yüz ölçümünün üç katı kadarlık bir alanı kapladığı anlamına geliyor.

2018 yılında *Nature*'da yayımlanan bir çalışmaya göre, BPÇB'de toplam kütlesi 79.000 ton olan 1,8 trilyon plastik parçası var. Bu plastiklerin %52'sini balık ağları ve ip-ler gibi balıkçılık malzemeleri oluşturuyor.

Bilimsel çalışmalar kuzeydeki okyanus çöplüklerinde güneydekilerden daha fazla plastik olduğunu gösteriyor. Kuzey Yarımküre'de yaşayan insan nüfusu daha fazla olduğu için bunun zaten beklenen

Okyanusların Yüzey Sularındaki Plastikler, 2013

Okyanusların yüzey sularındaki atık plastik miktarı. Derin sulardaki ve okyanus tabanlarındaki atıklar dahil değil.



Eriksen ve ark. (2014)

bir durum olduğu söylenebilir. Ancak gözlemlenen fark nüfus oranlarından beklenen derecede büyük değil. Bu durumun bir nedeni, varsayılandan daha kolay bir biçimde plastiklerin farklı girdaplar arasında hareket edebilmesi olabilir.

Plastiklerin Geri Dönüştürülmesi

Plastik kirliliğini azaltmanın yollarından biri daha fazla plastiği geri dönüştürmek, böylece hem atıkları yeniden yararlı hâle getirmek hem de birincil üretimi azaltmak. Bugün de önemli miktarda plastik geri dönüştürülüyor. Hatta geri dönüşüm oranı yıldan yıla artmaya devam ediyor. Ancak plastiklerin daha verimli bir biçimde geri dönüştürülmesi için aşılması gereken çeşitli zorluklar var.



Belirli bir türdeki plastiğin geri dönüştürülmesindeki en önemli zorluk, çok çeşitli türlerde plastik içeren atıklar arasından o tür plastiklerin nasıl ayıklanacağıdır. Plastiklerin işlev, biçim, sertlik, yumuşaklık ve dayanıklılık açısından çok farklı çeşitleri vardır. Atık plastiklerin verimli bir biçimde geri dönüştürülebilmeleri için önce bileşimlerine göre birbirlerinden ayırt edilmeleri gerekir.

Bir plastik geri dönüşüm tesisine gelen atıklar her zaman sadece plastiklerden oluşmaz. İçinde başka türden çöpler de olur. Bu istenmeyen atıkları ayırma işi bugün çoğunlukla insan eliyle yapılıyor. Plastik atıklar arasından belirli bir türdeki plastikleri ayıklamak söz konusu olduğundaysa çoğu zaman teknolojiden yararlanılıyor.

PET ve PVC türü plastikleri ayıklamak için kullanılan bir yöntemde atıkların optik özelliklerine bakılıyor. Önce özel kameralarla atıkların optik özellikleri analiz ediliyor. Daha sonra üzerlerine hava püskürtülerek istenmeyen türdeki plastikler ortamdaki uzaklaştırılıyor. Bu yöntemin bir dezavantajı koyu renkli plastikleri ayırt etmekte zorlanması. Kameralar tarafından kullanılan kızılötesi ışık, koyu renkli malzemeler tarafından güçlü bir biçimde yansıtılmıyor ve bu durum farklı türleri ayırt etmeyi zorlaştırıyor.

Farklı türde plastikleri ayrıştırmak için kullanılan bir başka yöntemdeyse yoğunluk farklarından



yararlanılıyor. Bu yöntemde, önce atıklar suyun içine bırakılıyor, sonra da suda yüzüp yüzmediklerine bakılarak farklı türler birbirlerinden ayrıştırılıyor. Bu yöntemin verimli olabilmesi için ayrıştırılmaya çalışılan malzemeler arasında en azından 0,2 g/cm³ yoğunluk farkı olması gerekiyor.

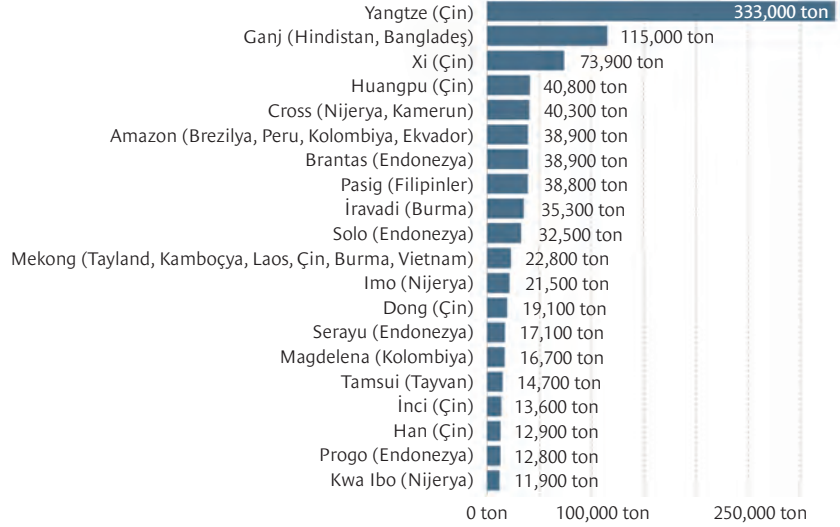
Bir başka yöntem ise “triboelektrik ayıklama” olarak adlandırılıyor. Bu yöntemde önce sürtünme yoluyla atıklar elektrikleştiriliyor. Daha sonra artı ve eksi yüklü elektrotlar tarafından çekilmelerine veya itilmelerine bakılarak birbirlerinden ayrıştırılıyor. Bu yöntemle PET ve PVC türü plastikler de dâhil olmak üzere çok çeşitli türde plastikleri ayıklamak mümkün. Yöntemin önemli bir dezavantajı ise atıkların kuru olmasının gerekmesi.

Farklı yöntemleri bir arada kullanarak atık plastikleri daha verimli bir biçimde ayıklamak tabii ki mümkün. Ancak atık plastik tesisleri genellikle tüm yöntemleri değil bir ya da birkaçını kullanıyor. Bu durum geri dönüştürülecek pek çok atığın ayıklanamayıp çöplüklere gitmesine sebep oluyor.

Londra'daki Brunel Üniversitesi'nde çalışan bir grup araştırmacı tarafından plastikleri daha iyi ayıklamak için önerilmiş bir yöntem, üretimleri sırasında plastikleri fosforlu malzemelerle etiketlemek. Böylece morötesi ışık dedektörleri kullanarak farklı türde plastikleri ayırt etmek mümkün olabilir. 2017 yılında bu yöntemi test eden Norveç menşeli bir firma karışık atıklar arasından fosforlu plastiklerin %98'ini %95 doğrulukla ayıkladıklarını açıkladı. Bu yöntemle ilgili önemli bir sorun üretilen plastiklerin hangi kriterlere göre etiketleneceği. İlk olarak polimer zincirindeki tekrar eden birimlere (monomerlere) göre etiketlemenin uygun olacağı düşünülebilir. Ancak aynı monomerden üretilen plastikler bazen birbirinden çok farklı özelliklere sahip olabiliyor. Çünkü plastiklerin özellikleri üretim süreçlerine ve kullanılan katkı maddelerine de bağlıdır. Aynı monomerleri içeriyor olsalar bile bir türdeki plastiği geri dönüştürüp başka türde bir plastiğin üretiminde kullanmak her zaman iyi sonuç vermeyebilir.

En Çok Plastik Taşıyan 20 Nehir, 2015

Dünya genelinde en çok plastik taşıyan nehirler, bu nehirlerin geçtiği ülkeler ve bir yıl içinde okyanuslara taşıdıkları plastik miktarları.



Plastiklerin geri dönüştürülmesi süreci genellikle şu şekilde ilerler: Önce atık plastikler mekanik olarak parçalanıp topraklar hâline getirilir. Daha sonra bu topraklar eritilip kalıplara dökülür. Malzemenin soğuyup katılaşmasıyla üretim tamamlanır.

En başarılı biçimde geri dönüştürülen plastiklerin başında içecek şişeleri gelir. Bu durumun ana nedeni tüm üreticilerin içecek şişelerinin üretiminde aynı malzemeyi, PET tü-

rü plastikleri, kullanmasıdır. Böylece hem atıkların ayıklanması hem de geri dönüştürülmesi kolaylaşır.

Geri dönüşüm süreciyle ilgili önemli bir sorun mekanik parçalanmaların malzemenin kalitesini düşürmesidir. Her geri dönüşümden sonra polimer zincirleri biraz daha kısalır. Ayrıca plastiğin yapısına arzu edilmeyen malzemeler karışır, saflığı düşer. Bu yüzden bir plastiğin kaç kez geri dönüştürülebileceğinin bir sınırı vardır. Günümüzde bu sınırın nasıl yukarı taşınabileceği üzerine araştırmalar yapılıyor.

Polimerlerin geri dönüştürülmesi için kimyaya dayalı çeşitli yöntemler de söz konusu. Örneğin geri dönüşüm sürecinde önce polimer zincirleri kimyasal olarak parçalanabilir. Daha sonra ortaya çıkan monomerler yeniden polimerleştirilerek yüksek kalitede plastiklerin üretiminde kullanılabilir.





Bu yöntem özellikle tekstil ürünlerindeki plastiklerin geri dönüşürülmesinde yararlı olabilir. Çünkü kumaşlardaki plastikler, genellikle mekanik süreçlerle ayrıştırılmayan başka malzemelerle bir arada kullanılır.

Mikroplastikler ise geri dönüşürülmesi en zor olan plastiklerdir. Çünkü bu ufak plastik parçalarını makro büyüklükteki atıklar arasından ayıklamak çok zordur. Konu üzerine çeşitli çalışmalar olsa da yakın bir gelecekte mikroplastiklerin verimli bir biçimde geri dönüşürülmeye başlanması pek olası görünmüyor.



Biyolojik Çözümler

2016 yılında Japon araştırmacılar Sakai'deki bir PET geri dönüşüm tesisinde çok önemli bir keşfe imza attılar. Tesisin civarından alınan çamurlu topraklarda daha önceleri bilinmeyen bir tür bakteri yaşıyordu. İlginç olan şey, *Ideonella sakaiensis* adı verilen bu bakterilerin PET türü plastiklerle beslenmesiydi. Bilimsel çalışmalar bakterilerin PETaz ve MHETaz adı verilen iki enzimi kullanarak plastikleri parçaladığını gösterdi. Üstelik ortaya çıkan son ürünler de çevreye zarsızdı.

Bakteriler tarafından parçalandığı bilinen tek plastik türü PET değil. Yakın zamanlarda bir grup Alman araştırmacı poliüretan içeren plastikleri parçalayan bir bakteri türü keşfetti. Naylon sentezinin yan ürünleriyle beslenen mikroorganizmaların varlığıysa 1970'lerden beri biliniyor.

Plastikleri parçalayan bakteriler, plastik kirliliği sorununa biyolojik bir çözüm sunabilir. Günümüzde pek çok araştırmacı bu konu üzerine kafa yoruyor. Örneğin bir grup araştırmacı laboratuvar ortamında PETaz enziminin yapısına müdahale ederek süreci %20 oranında hızlandırmayı başardı. Aynı araştırma grubu yakın zamanlarda *Ideonella sakaiensis* türü bakterilerin PET'leri parçalamak için kullandığı iki enzimi kimyasal olarak birbirine bağlayarak bir süperenzim elde etti. Deneyler, süperenzimin PET'leri, doğal iki enzime kıyasla, üç kat daha hızlı parçaladığını gösterdi.

Söz konusu olan geri dönüşüm olduğunda PET'ler, özellikle de PET şişeler, zaten en başarılı biçimde geri dönüştürülen plastik türlerinden. Ancak verimli bir biçimde geri dönüştürülebilen PET şişelerin tüm PET'ler içindeki oranı sadece %30. PET'lerle beslenen bakteriler sayesinde bu oran çok daha yukarılara çekilebilir. Örneğin halı ve giysilerde kullanılan PET iplikçiklerin verimli bir biçimde geri dönüşürülmesinde bakteriler çok yararlı olabilir.

Gelecekte sadece PET'leri ve poliüretanlı plastikleri değil diğer plastik türlerini parçalayan bakteriler de keşfedilebilir. Hatta bu tür bakteriler tasarlanıp laboratuvar ortamında üretilebilir. Biyolojik yöntemler plastiklerin geri dönüşümünde giderek büyüyen bir rol oynamaya aday.

Plastik Kirliliğinin Geleceği

Plastik kirliliği giderek büyüme eğiliminde. Özellikle tek kullanımlık plastiklerin üretimindeki artış ve kullanat kültürü durumun daha da kötüleşmesine neden oluyor. Sorunun büyümesine neden olan bir diğer etken de atık plastiklerin ticaretinin yapılması! Plastik üretimini ucuz getirmeye çalışan bazı ülkeler, atık plastikleri ithal edip geri dönüştürme yoluna gidiyorlar. Ancak bu ülkelerin büyük çoğunluğunun atık yönetiminde çok da başarılı olmaması kirliliğin daha da artmasına neden oluyor.

Tahminlere göre, yıllık plastik üretimindeki ve atık miktarındaki artış bu şekilde büyümeye devam ederse 2050 yılına gelindiğinde kötü idare edilen plastik atık miktarı iki katına çıkacak. Okyanuslardaki plastik miktarınsa 2025 yılına gelindiğinde 2010'dakinin on katına çıkacağı tahmin ediliyor.

Günümüzde bazı ülkeler, yasaklar ya da vergiler yoluyla plastik tüketimini azaltmaya çalışıyor. Avrupa Birliği, tek kullanımlık plastikler ile ilgili bir yönerge çıkardı. 1992 yılında yürürlüğe giren ve bugüne kadar 186 ülkenin imza attığı, zararlı atıkların sınırlar arası hareketleriyle ilgili Basel Sözleşmesi'ne plastik atık ticareti ile ilgili maddeler eklendi. Bilim insanları ve çevre örgütleri soruna çözüm bulmak için çalışmaya devam ediyorlar. Ancak tüm bu çabalara rağmen



sorunun küresel ölçekte çözülmesini sağlayabilecek, gerçeklere dayalı, pratik ve ölçülü önlemler bulunabilmiş değil.

Plastik kirliliği sorunu için öne sürülen bazı çözümler, atıkların daha iyi idare edilmesine odaklanıyor ve atık toplama, işleme ve geri dönüştürme sistemlerine büyük yatırımlar yapılmasını gerektiriyor. Bazı çözümlerse var olan plastikleri tekrar tekrar kullanılarak ya da alternatif malzemelere yönelerek birincil plastik üretimini azaltmayı hedefliyor.

Winnie W. Y. Lau ve arkadaşları, bilgisayar benzetimleri yaparak plastik kirliliğinin geleceği hakkında tahminler yaptılar. Araştırmacıların *Science*'te yayımladıkları sonuçlara göre, bugün çeşitli ülkeler ve kuruluşlar tarafından verilen tüm taahhütler yerine getirilse bile 2040 yılına gelindiğinde, her şeyin olduğu gibi devam etmesi durumuna kıyasla, karalara ve denizlere karışan plastik kirliliği sadece %6 oranında azalacak. An-

cak büyük çapta sistemsel değişiklikler yaparak, güncel bilgi ve teknolojilerle bu oranı %78'e kadar çıkarmak mümkün olabilir. Uygulanabilecek sistemsel değişiklikler arasında şunlar var: kullandığımız plastik miktarını azaltmak, plastikler yerine başka malzemeler kullanmak, öne sürülen geri dönüşüm yöntemlerini ve teknolojilerini kullanmaya başlamak, atık toplama kapasitesini artırmak, atıkları ayıklama ve geri dönüştürme kapasitesini artırmak, kimyasal dönüşüm kapasitesini artırmak, toplanan atıklardan çevreye sızıntı olmasını engellemek ve ticareti yapılan atık plastik miktarını azaltmak.

Öncelikle sistemsel değişiklikler yapılarak her yıl çevreye saçılan atık plastik miktarının azaltılmasının plastik kirliliği sorununun çözüleceği anlamına gelmediğinin altını çizmek gerek. Doğada kendiliğinden parçalanma süreleri çok uzun olduğu için, plastikler birikmeye ve çevreyi kirletmeye devam edecek. Hatta bugün okyanuslara karışan plastik miktarı sıfı-

ra inse bile, gelecek otuz yıl boyunca okyanuslardaki plastik çöplükleri büyümeye devam edecek. Benzer bir durum açık çöp toplama alanları için de geçerli. En iyi ihtimalle bile 2040'a kadar açık çöplüklerde 250 milyon ton plastik atık birikeceği ve bunların çevreyi tehdit etmeye devam edeceği tahmin ediliyor. Bugün atık plastiklerden kurtulmanın en yaygın yöntemlerinden biri yakıp yok etmek. Ancak plastikleri yakmanın kirliliği önlemek için bir yöntem olduğu söylenemez. Yakma sonucunda pek çok zararlı organik bileşik, sera gazı ve mikroplastik atmosfere karışıyor. Tahminlere göre 2040'a kadar en azından 1,2 trilyon ton plastik daha yakılarak yok edilecek.

Öte yandan, %78'lik azalmaya ulaşmak için gerekli sistemsel değişiklikleri yapabilmek için de pek çok zorluğun aşılması gerekiyor. Örneğin bugün, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde, milyonlarca eve belediyeler tarafından çöp toplama hizmeti verilmiyor. Bu bölgelerde, geri dönüştürülen ya da yakılarak yok edilen plastikler, atık toplama işini kendine meslek edinmiş, bu işten para kazanan in-

sanlar tarafından toplanıyor. Bu gönüllüler, bugün dünya genelinde geri dönüştürülen plastiklerin yaklaşık %60'ını topluyorlar. Atık plastik toplama kapasitesini artırmak amacıyla gönüllü atık toplama işini daha kârlı hâle getirmenin yollarını aramak gerekebilir. Ayrıca sadece atık toplama, ayıklama ve güvenli depolama alanlarına yatırım yapılması yeterli değil; bu yatırımların, tüm dünya genelinde koordineli bir biçimde idare edilmesi de gerekli. Plastik kirliliğini azaltmak ve neredeyse sıfıra indirmek için iş dünyasının, çevre örgütlerinin, idari yönetimlerin ve tabii ki bireylerin bu amaca uygun davranışlar sergilemesine ihtiyaç var.

Sonuç

Plastik kirliliği giderek büyüyen bir çevre sorunu. Şu anki bilgilerimizle ve var olan teknolojilerle yakın gelecekte çözülmesi pek mümkün gözüküyor. Plastiklerin çevreye ve canlılara verdiği zararı azaltmak için daha verimli biçimde geri dönüşümü mümkün kılan teknolojilere, atık plastiklerin zararsız mad-

delere dönüşümünü sağlayan kimyasal ve biyolojik çözümlere ihtiyaç var. Plastiklerin yerine başka malzemeler kullanmak ya da belirli işlerde plastiklerin kullanımını yasaklamak, plastik kirliliğini azaltmanın en basit yöntemleri olabilir. Ancak bu tarz önlemler alırken plastiklerin sahip olduğu üstün özellikleri de unutmamak gerekiyor. Plastikler ucuz, hafif, dayanıklı ve çok çeşitli amaçlar için kullanılabilirler. Gıda güvenliğini sağlamakta, gıdaların bozulmasını önlemekte önemli işlevleri var. Plastiklerin yerine başka malzemeler kullanmak ya da plastiklerin kullanımını yasaklamak faydadan çok zarar da getirebilir. Bu yüzden yapılması gerekenlerin en başında insanların plastik atıklar konusunda daha duyarlı olması gerekiyor. Belki gelecekte plastikleri geri dönüştürmenin ya da çevreye zararsız hâle getirmenin kusursuz yöntemleri keşfedilebilir. Ancak bu yöntemlerin keşfedilmesinden daha da önemli olan şey, ne ölçüde kullanılacakları. Atıklar bilinçsizce etrafa saçılmaya devam edildikçe plastikler de çevreyi kirletmeye devam edecektir. ■

Kaynaklar

- Ritchie, H. ve Roser, M., "Plastic Pollution", *Our World in Data*, <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>, 2018.
- Jambeck, J. R., ve ark., "Plastic waste inputs from land into the ocean", *Science*, Cilt 347, s. 768, 2015.
- Demming, A., "Plastic that doesn't cost Earth", *Physics World*, <https://physicsworld.com/a/plastic-that-doesnt-cost-the-earth/>, 2020.
- Knott, B. C., ve ark., "Characterization and engineering of a two-enzyme system for plastics depolymerization", *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, Cilt 117, s. 25476, 2020.
- Geyer R., ve ark., "Production use, and fate of all plastics ever made", *Science Advances*, Cilt 3, Makele No: e1700782, 2017.
- Lebreton, L., ve ark., "Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic", *Scientific Reports*, Cilt 8, Makale No: 4666, 2018.
- Lau, W. W. Y., ve ark., "Evaluating scenarios toward zero plastic pollution", *Science*, Cilt 369, s. 1455, 2020.
- Eriksen, M., ve ark., "Plastic Pollution in the World's Oceans", *PLOS ONE*, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0111913>, 2014.
- Le Guern, C., "When The Mermaids Cry: The Great Plastic Tide", <https://plastic-pollution.org/>, 2020.