

# PLASTIKTEN DOST OLUR MU?

## Biyoplastikler ve Yeni Eğilimler

Dr. Tuncay Baydemir [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

**Modern toplumlarda plastik malzemeler önemli bir rol oynuyor ve günümüzde hemen hemen her alanda yoğun olarak kullanılıyorlar.**

**Ambalaj, tarım, gıda, sağlık, inşaat, otomotiv, havacılık ve uzay gibi çok çeşitli sektörlerde geniş uygulama olanaklarıyla yaşamımızın vazgeçilmezleri hâline gelen plastik malzemeler, amaca göre farklı özelliklere sahip olacak şekilde sentezlenip son ürüne dönüştürülebiliyor.**



**D**ünyada plastik üretimi yıllara göre sürekli bir artış gösteriyor. Küresel plastik üretimi 2017 yılında 348 milyon ton civarlarındayken bu sayı 2018 yılında 360 milyon tona yaklaştı. Plastiklerin çağının başladığı 1950'lerden itibaren ortaya çıkan plastik atıkların sadece %21'lik kısmı geri dönüştürüldü veya enerji üretiminde kullanıldı. Geriye kalan plastikler ise ya katı atık depolama alanlarına gönderildi ya da doğaya bırakıldı.

Sayılara bakıldığında durumun iyi bir yönde seyretilmediği açık bir şekilde görülüyor. Plastiklerin çevre üzerinde bıraktığı olumsuz etkiler hakkında farkındalık ise son dönemde iyice arttı. Daha çevreci yaklaşımlar için dünya ülkeleri artık önemli adımlar atıyorlar. Ancak görünen o ki plastik malzemelerin eşsiz özelliklerinden faydalanmaktan vazgeçmek pek de mümkün olmayacak. Bu nedenle plastik üretimi ve kullanımının daha çevreci düzenlemeler ve yaklaşımlar çerçevesinde gerçekleştirilmesi gerekiyor.

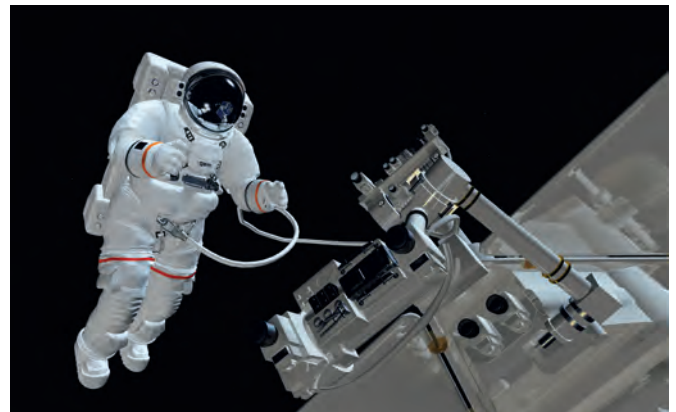




Plastiklerin büyük çoğunluğu petrol bazlı olarak üretiliyor. Sahip oldukları üstün özellikleri sayesinde çok çeşitli alanlarda kullanılan plastik malzemeler genel olarak doğadaki kalıcılıkları sebebiyle kirliliğe yol açıyor. Plastiklerin üretim ve kullanımına ilişkin yetersiz politikalar, istenilen düzeyde gerçekleştirilemeyen geri dönüşüm ve yeniden kullanım sağlama çalışmaları bu kirliliğin günümüzde çok ciddi boyutlara ulaşmasına neden oluyor.

Ev eşyalarından tutun da uzay teknolojilerine kadar pek çok alanda kullanımı olan plastik malzemeler ve türevleri, kullanımları sona erdiğinde ya geri dönüştürülmeli ya da doğada kirliliğe neden olmayacak şekilde kısa sürelerde bozunma süreçlerine dâhil olabilmelidir. Sentetik plastiklerin kimyasal, fiziksel ve biyolojik bozunmaya karşı direnci, son yıllarda ciddi endişeler yaratmaya başladı. Mevcut plastik malzemelere alternatif olarak doğal ve sürdürülebilir kaynaklardan üretilen, biyolojik olarak parçalanabilen, biyoyumlu ve düşük toksisiteli bozunma özelliği taşıyan plastik malzemelere ihtiyaç duyuluyor.

Plastik malzemelerin doğaya zarar vermeyecek şekilde parçalanarak türlerinin üretimini ve kullanımını artırmak sorununun bir kısmını çözmeye yarayabilir. Burada karşımıza biyo bazlı ve biyobozunur polimerler bir alternatif olarak çıkıyor. Konuyla ilgili yapılan araştırmaların doğadaki plastik kirlenmesinin önüne geçmemize yardımcı olması öngörülmüyor.



# Plastikler - Polimerler

Sıcaklık ve basınç uygulanarak kalıplanabilen ve şekil verilebilen sentetik ya da yarı sentetik polimerlere plastik deniyor. Plastik kelimesi Yunanca kökenli olup şekil verilebilir ve kalıplanabilir malzeme grubunu işaret ediyor. Üretim aşamasında plastikler film, iplik, plaka, tüp, şişe, kutu gibi pek çok şekilde son ürün hâline dönüştürülebilir. Endüstriyel plastiklerin büyük bir kısmı petrokimyasal maddelerden elde ediliyor. Tipik bir plastik reçine birden fazla polimer türü içerebileceği gibi bunlara ek olarak renklendirici, plastikleştirici, UV koruyucu gibi çeşitli katkı maddeleri ve dolgu maddeleri de içerebilir. Bunların eklenmesiyle son ürünün işlenebilirlik, termal ve çevresel dayanım ve mekanik özellikleri geliştirilebilir.

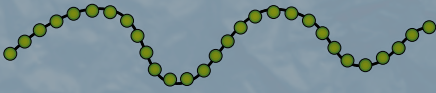
Polimerler halk arasında genel olarak plastik olarak biliniyor. Bu kullanım tam olarak doğru sayılmaz. Bütün plastik malzemeler polimerlerden oluşur ancak tüm polimerler plastik olarak değerlendirilemez.

Hayatımızda bu kadar önemli yere sahip olan plastikleri daha iyi anlamak için polimerleri biraz daha yakından tanımakta fayda var. Polimer molekülleri pek çok küçük molekülün birleşiminden oluşan oldukça büyük moleküllerdir.

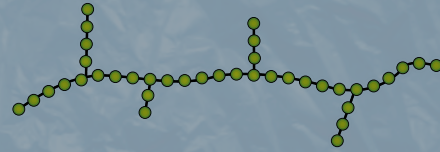
Kökeni Yunancaya dayanan polimer ismi “çok parçalı, çok parçadan oluşan” anlamlarına geliyor. Bu isim polimerin oluşumunda yer alan pek çok küçük molekülün yani monomerlerin, polimerleşme reaksiyonu sonucunda birbirine eklenmesini ifade ediyor. Tıpkı yapı oyuncaklarında birbiriyle aynı blokların birbirine eklenmesi gibi... Sonuç olarak elimizde birbirine eklenen halkaların oluşturduğu zincir şeklinde uzun bir yapının olduğunu düşünebiliriz. İşte polimer molekülleri de aşağı yukarı bu şekildedir. Elbette elde edilen yapı her zaman düz bir zincir şeklinde olmaz. Bazı yerlerinde dallanıp budaklanır, bazen iki zincir arasındaki belli bölgeler birbirine küçük zincirlerle bağlanır, bazen merdivene benzer yapılar elde edilir. Bazı durumlarda zincirler ortak tek bir noktadan çıkarak yıldız benzer yapılar oluşturabilir. Bunların yanında oldukça karmaşık sayılabilecek farklı yapılar da sentezlenebilir.

Polimerler doğal polimerler ve sentetik polimerler olarak iki ana sınıfa ayrılabilir. Doğal polimerler arasında proteinler, nükleik asitler, ipek, kauçuk, selüloz ve nişasta sayılabilir. Polistiren, polipropilen, polietilen, polivinilklorür, naylon gibi polimerler ise yapay olarak sentezlenebilen polimerler arasında yer alır. Bazı durumlarda (kauçuk örneğinde olduğu gibi) doğal polimerler yapay yollarla da sentezlenebilir.

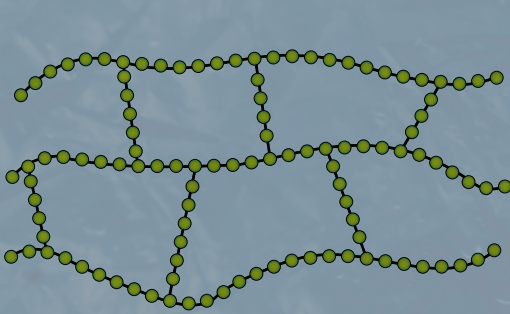
## Polimer Moleküler Yapılar



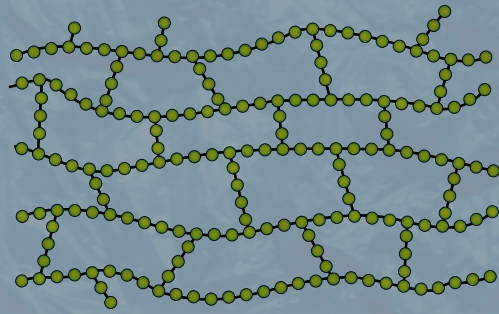
Doğrusal



Dallanmış



Seyrek çapraz bağlı

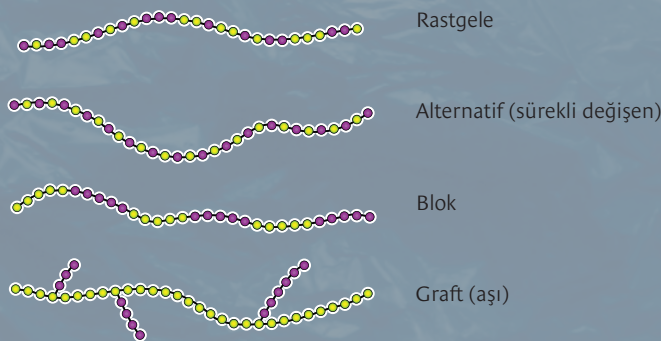


Yoğun çapraz bağlı

Kısaca belirtilmeye çalışıldığı gibi tekrarlayan aynı moleküller yani monomerler kullanılarak pek çok farklı polimer yapıları elde edilebiliyor. Ayrıca farklı monomer türleri kullanılarak kopolimer denilen yapılar da oluşturulabiliyor. Kullanılan monomer türleri, polimer zincirlerin uzunlukları ve moleküler yapılar gibi pek çok farklılık sayesinde elde edilen son malzemenin özellikleri değişiklik gösteriyor. Bunlarla birlikte endüstriyel işlemlerle üretilen son ürünün özellikleri de yeni katkı maddeleri ve pek çok farklı kimyasal ve fiziksel süreçle istenildiği gibi ayarlanabiliyor. Bahsedilen çeşitlilikteki malzeme üretimi araştırmacılara sayısız olanak sağlıyor. Sonuç olarak polimerler bilim insanları için pek çok araştırma konusu sunduğu gibi elde edilen nihai ürünler de modern hayatın vazgeçilmezleri arasında yer alıyor.

Tüm polimerler ve dolayısıyla plastikler termal işlem davranışlarına göre iki sınıfta değerlendiriliyor. Termoplastikler ısıtıldığında eritilebilen ve soğutulduğunda yeniden sertleşip aldığı şekli koruyabilen malzemelere deniyor. Bu işlem geri döndürülebilir özellik taşıyor. Sıcaklık ve basınç yardımıyla kalıplama işlemi yeniden tekrarlanabiliyor ve farklı üretim teknikleriyle istenilen şekilde son ürünler üretiliyor. Termosetler ise sentezlenme ya da üretim aşamasında polimer zincirlerinin birbirine kimyasal bağlarla çok sıkı bir şekilde bağlanmış olduğu polimer malzemelerdir. Isıtılıp son şekil verildikten sonra bu malzemeler tekrar eritilip şekillendirilemiyor. Oldukça yüksek sıcaklıklarda direkt olarak bozunmaya uğruyorlar.

Küresel ölçekte plastik atıkların hızlı birikimi, üstün niteliklere sahip (örneğin, zararlı yan ürünler oluşmadan tam biyobozunur özellikli) ve yenilenebilir (fosil yakıtlara ihtiyaç duyulmadan biyokütlelerden üretilen) plastiklere olan talebi artırıyor. Sonuç olarak küresel biyoekonomi sürekli şekilde büyüme gösteriyor.



Çeşitli kopolimer yapıları

## Plastik Atıklar Sürekli Artıyor

Petrokimya endüstrisinde yakıt olarak kullanılmayan kimyasal yan ürünlerin yaklaşık %80'lik kısmı polimer üretiminde kullanılıyor. 2015 yılına kadar küresel plastik üretimi 8,3 milyar tona ulaştı ve 6,3 milyar ton plastik atığa sebep oldu. Bu malzemelerin sadece %21'lik kısmı geri dönüştürüldü veya enerji üretiminde kullanıldı. Geriye kalan %79'luk kısım ise ya katı atık sahalarına bırakıldı ya da çevreye atıldı. 2050 yılına kadar toplam plastik atık miktarının 12 milyar tona yükselmesi bekleniyor.

Küresel plastik kirliliğinin ulaştığı boyutları gösteren en önemli örneklerden biri 1,6 milyon km<sup>2</sup>lik bir alanı kaplayan ve hızla büyümeye devam eden Büyük Pasifik Çöp Yaması. Okyanus akıntılarının bir araya getirdiği bu plastik atık yığını gibi dört alan daha bulunuyor. Yağnlardaki plastik parçalarının çoğunun birkaç milimetre çapında olduğu ve en az 5,25 trilyon plastik parçasının okyanuslarda kirliliğe neden olduğu tahmin ediliyor. 5 mm çapından büyük parçalar bu atıkların ağırlıkça %87'sini oluştururken, mikroplastik olarak ifade edilen ve çapı 5 mm'den küçük olan plastik parçalar da yaklaşık %13 ağırlığa karşılık geliyor. Atıkların besin zincirine dâhil olması sonucunda deniz canlıları ve bunları tüketen insanlar mikroplastiklere maruz kalıyor. Mikroplastiklerin tuz, bal, şeker ve şişelenmiş su gibi farklı kaynaklarda da bulunduğu çeşitli araştırmalarla ortaya çıkarıldı. Beslenme ya da solunum yoluyla alınan mikroplastikler vücutta birikerek iltihaplanmalara, kansere (özellikle hayvanlarda), zehirlenmelere (özellikle insanlarda) neden olabilir.

Yıllar içerisinde plastiklere olan talebin artması ve bazı plastik türlerinin tam anlamıyla bozunmasının yüzlerce yıl sürebildiği göz önünde bulundurulduğunda bazı önemli girişimlerin yapılması gerekiyor. Bunlar arasında plastik kullanımının azaltılması, geri dönüşüm ve tekrar kullanım faaliyetlerinin üst seviyelere taşınması gibi politikalar var. Mücadelenin en önemli öğelerinden birisi de petrol bazlı plastiklerin yerini mümkün olduğunca biyobozunur özelliğe sahip ve sürdürülebilir şekilde üretilen biyoplastiklerle doldurmaktan geçiyor.

## Biyoplastik ne demek?

**B**iyoplastik terimi biyokütleden veya biyokütleden üretilen monomerlerden elde edilen biyo bazlı polimerler için kullanılıyor ve bu terimle genel olarak fosil kaynaklı polimerlerin tam zıttı kastediliyor.

Biyoplastik ifadesinin kullanımı çoğu zaman yanlış anlaşılabilir ve biyokütlelerden elde edilen polimerlerin tamamıyla çevre dostu olduğu kanısı oluşabiliyor. Yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmadan biyo bazlı bir polimer malzemenin çevre dostu olma bakımından petrol bazlı bir polimer malzemeye herhangi bir üstünlüğü olmayabiliyor.

Biyoplastikler farklı malzemelerden elde edilebiliyor ve çok farklı alanlarda kullanılabilir. Son yapılan tanımlamalara göre bir plastik malzemenin biyoplastik olarak sınıflandırılabilmesi için biyo bazlı ya da biyobozunur olması ya da her iki özelliği de taşıması gerekiyor. Buradan yola çıkılarak biyoplastik malzemeler günümüzde üç ana grupta toplanıyor: biyo bazlı plastikler, biyo bazlı biyobozunur plastikler ve petrol bazlı biyobozunur plastikler.

Biyoplastik üretimi için kullanılacak malzemelere her geçen gün yenileri eklenmeye devam ediyor. Yaygın olarak kullanılan biyokütleler arasında selüloz, lignin, bitkisel yağlar, mısır nişastası, bezelye nişastası, patates nişastası, şeker kamışı, avokado, yosun ve algler, kaktüs, karides ve mantar sayılabilir. Biyoplastik üretimi için kullanılan kaynakların sürdürülebilir ve doğa dostu olmaları sayesinde hem petrol bazlı hammaddelere ihtiyaç azalıyor hem de daha çevreci bir yaklaşım sergileniyor. Örnek vermek gerekirse, Avrupa'nın yıllık polietilen (PE) talebinin fosil bazlı yerine biyo bazlı kaynaklardan karşılanması durumunda doğaya 42 milyon ton daha az karbondioksit salımı gerçekleşebilir.

## Biyobozunur Plastikler Varlar ve Daha Sonra Yoklar

Sentetik polimerlerin büyük çoğunluğu kimyasal, fiziksel ya da biyolojik süreçlerde parçalanmaya karşı oldukça dayanıklı olabiliyor. Bozunma süreçlerinin oldukça uzun olması bu malzemelerin yaygın kullanımını sorgulamayı gerekli kılıyor. Araştırmacılar bu nedenle kullanılan fosil bazlı polimerlerin yerine geçebilecek biyobozunur, biyolojik süreçlere uyumlu ve bozulduğunda doğaya ve insan sağlığına zehirli ürünler bırakmayacak alternatiflerini bulmaya çalışıyorlar.

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), biyobozunur polimerleri, biyolojik aktiviteler sonucunda daha küçük moleküllere parçalanarak molekül ağırlıkları düşmeye uygun ve bu sayede bozunmaya yatkın polimerler olarak tanımlıyor. Diğer tanımlamalar ise biyobozunur malzemelerin kısa sayılabilecek sürelerde genel olarak karbondioksit, su ve biyokütleye bozunmasını öngörüyor.

Biyobozunur plastikler daha çevreci çalışmaların odağındaki malzemeler olarak dikkat çekiyor. Bu malzemeler ortamın asitliği, sıcaklık, mikroorganizmalar, oksitlenme ve ışık gibi etmenlerle önce daha küçük yapılara, daha sonrasındaysa karbondioksit, metan, su ve çürümüş organik yapılar gibi zararsız bileşenlere bozunuyor. Bu süreçlerin hepsi malzemenin bulunduğu ya da bırakıldığı doğal ortamda kendiliğinden gerçekleşiyor. Bu sayede bu ortamlarda herhangi bir kirlenmeye de yol açmıyorlar.

Biyobozunma işlemi malzemenin türüne göre endüstriyel kompostlama, bahçe kompostlama, toprak ve su (tatlı, acı ve deniz suyu) gibi farklı ortamlarda gerçekleştirilebiliyor. Sadece endüstriyel kompostlama işleminde bozunma koşulları ve zaman dilimleri net bir şekilde ortaya konulabiliyor. Bu yöntemle biyobozunma süreci standart bir hâle getirilip kolay bir şekilde takip edilebiliyor.

Biyobozunur plastikler tamamen doğal kaynaklardan elde edilebildiği gibi doğadan elde edilen malzemelerin kimyasal süreçlerde işlenmesiyle yarı sentetik olarak da üretiliyor. Ayrıca sayıları az da olsa tamamen sentetik yollarla elde edilen biyobozunur plastikler de bulunuyor.

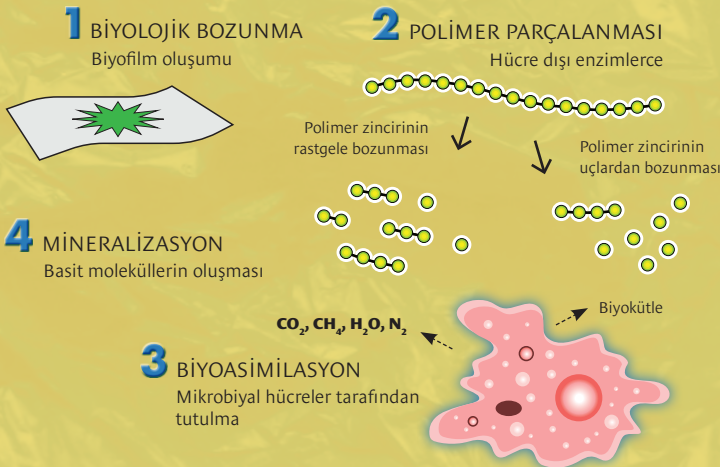
## Biyobozunma Süreci Nasıl Gerçekleşiyor?

Avrupa Birliği Stratejik Raporuna göre plastik malzemelerin tamamının 2030 yılına kadar geri dönüştürülebilir ya da yeniden kullanılabilir hâle getirilmesi hedefleniyor. Biyobozunur polimerler ise bu hedefin gerçekleştirilmesinde büyük önem taşıyor.

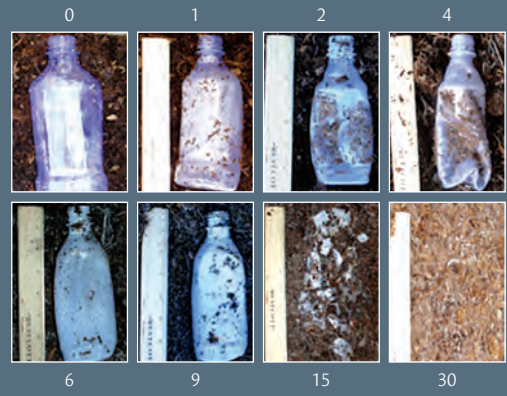
Biyobozunma, maddeleri karbondioksit, su ve/veya metana metabolize eden mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen kimyasal bir işlem. Genel olarak biyobozunma süreci dört aşamada gerçekleşiyor. İlk adımda, malzemenin yüzeyinde mikrobiyal film oluşumu ile polimer malzemenin daha küçük parçalara ayrılması gerçekleşiyor. Biyofilm mikroorganizmaları salgıladıkları enzimlerle polimer zincirlerini parçalayarak daha küçük moleküllere dönüştürmelerine neden oluyor. Bu daha küçük moleküller mikrobiyal hücrelerde işleniyor. En son aşamada ise mineralizasyon adı verilen süreç gerçekleşiyor ve karbondioksit, metan, su ve azot gibi ürünlere dönüşüm tamamlanıyor. Zararsız olan bu son ürünler doğada yerlerini alıyor.

Biyobozunur polimerlerin bozunma süreçleri çevre koşullarına bağlı olarak gerçekleşiyor. Nem, sıcaklık ve mikroorganizma konsantrasyonları farklı ortamlar farklı biyolojik bozunma süreçleri anlamına geliyor. Doğal ortamlarda daha iyi biyolojik bozunma süreçlerine sahip malzemeler geliştirmek için araştırmacıların işbirliği içinde çalışması gerekiyor. Farklı ortamlarda bulunan mikroorganizmalar ve bunların biyolojik bozunmadaki işleyişi hakkında yapılacak araştırmalar mikrobiyal biyolojik parçalanmaya uyumlu yeni polimer malzemeler sentezlenmesinde belirleyici rol oynayabilir.

### Biyobozunma Nasıl Gerçekleşir?



GÜN



### Biyo Bazlı Plastikler

Biyo bazlı plastikler, malzeme ya da ürünün kısmen de olsa yenilenebilir biyokütle kaynaklarından (bitki ve mikroorganizmalardan) elde edildiği anlamını taşıyor. Biyoplastikler için yaygın kullanılan biyokütle örnekleri arasında mısır, şeker kamışı ve selüloz yer alıyor. Yaygın olarak kullanılan plastiklerin büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilirken biyo-bazlı plastikler ise yenilenebilir kaynaklardan elde ediliyor. Biyo bazlı plastikler fosil bazlı muadilleriyle eşdeğer özelliklere sahip olup aynı zamanda karbon ayak izinin azaltılmasını sağlıyorlar.

Biyo bazlı ve biyobozunur terimleri genellikle birbirlerine karıştırılıyor. Biyobozunma malzemenin doğal ya da sentetik kaynağına bağlı olmayıp daha çok onu oluşturan moleküllerin kimyasal yapısıyla alakalıdır. Daha açık anlatmak gerekirse biyo bazlı bir plastik malzeme biyobozunur özellik taşıyabilir ve tamamen petrol bazlı bir plastik malzeme de biyobozunur özellikte olabilir.

Bu noktada biyo bazlı plastik malzemelerin petrol bazlılara üstün olduğu noktaları vurgulamak gerekiyor. Öncelikle biyo bazlı plastikler fosil yakıtların daha az kullanılmasını ve bu sayede karbon ayak izinin ve sera gazı salımının azaltılmasını sağlıyorlar. Kullanılan biyokütle kaynaklarının yeniden üretilebilir olması (en az yılda bir kez ürün hasadı gerçekleştiği düşünülebilir) biyo bazlı plastik üretiminin sürdürülebilirliğini sağlıyor. Biyoküteller daha sonra enerji üretimi için de kullanılabilir. Ayrıca bu malzemeler biyobozunurluk özelliği de taşıyorsa doğaya bırakıldıklarında herhangi bir kirliliğe de yol açmıyorlar.

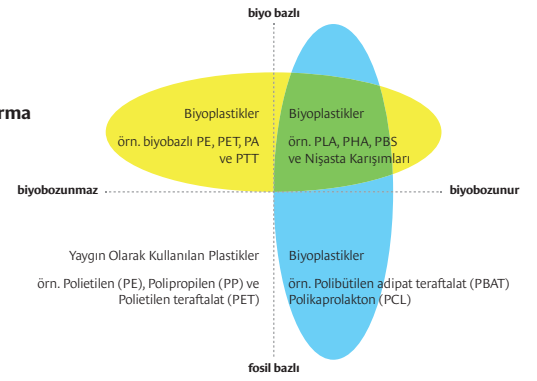


## Önemli Girişimler

Biyoplastikler genel anlamda sahip oldukları potansiyel sayesinde gelecek malzeme üretimi eğilimlerinde belirleyici rol oynuyor. Petrol bazlı üretilen ve küresel anlamda çok yaygın kullanıma sahip polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polivinilklorür (PVC) gibi ticari plastikler yenilenebilir kaynaklardan da elde edilebiliyor. Biyo-PE hâlihazırda üretiliyor ve önümüzdeki dönemlerde bazı büyük firmalar da üretim aşamasına geçmeyi planlıyor. Bu eğilimi biyo-PP ve biyo-PVC üretiminin de izlemesi bekleniyor. Kısmen biyo-bazlı polietilen tereftalat (PET) polimeri ise paketleme işlemlerinde (özellikle içecek şişeleri yapımında) kullanılıyor.

Poliamid, poliester, poliüretan ve poliepoksiler biyo bazlı ancak biyolojik olarak bozunmayan yüksek performanslı plastiklere örnek verilebilir. Bu biyo bazlı yüksek performans malzemeleri genel olarak tekstil ve otomotiv sanayisinde dayanıklı son ürünler için kullanılıyor. Bu ürünlerde kullanım ömrü tamamlandıktan sonra geri dönüşüm işlemi gerekiyor.

### Genel Sınıflandırma



Biyo bazlı biyobozunur plastikler olarak nişasta ve selüloz türevleri, polilaktik asit ve polihidroksialkanoatlar ön plana çıkıyor. Şimdiye kadar daha kısa ömürlü ürünler için kullanılan bu plastik sınıfı, çeşitli biyo bazlı monomerlerin üretime katılması ile hızla büyüyor. Son yıllarda bu polimer sınıfının geri dönüşümü için de araştırmalar yapılıyor. Tüm gelişmeler yenilikçi ve rekabetçi ürünlerle karşımıza çıkan biyoplastiklerin, polimer endüstrisini şekillendirme potansiyeli taşıdığı işaret ediyor.

Petrol bazlı polimerlerden biyobozunur özellik taşıyanlar ise nispeten küçük bir grubu oluşturuyor. Diğer biyoplastiklerle kombinasyon hâlinde kullanılmaları ile hem biyobozunur özellikte hem de mekanik dayanımı yüksek malzemeler üretilebiliyor. Oldukça sınırlı çeşitliliğe sahip bu alan geliştirilmeye açık görünüyor.

## Standartlar ve Sertifikasyonlar Yeterli mi?

Biyoplastiklerin sınıflandırmasında çizgiler henüz tam olarak net değil. Referans alınacak standartlar, metodolojiler ve bunlara ilişkin kullanıcıları doğru bilgilendirici terimler konusunda çalışmalar devam ediyor.

Küresel standartları belirleyen temel kuruluşlar arasında ISO (Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı), CEN (Avrupa Standardizasyon Komitesi) ve ASTM (Amerikan Test ve Malzeme Kurumu) yer alıyor. Bunlara ek olarak pek çok ulusal standardizasyon kuruluşu da mevcut. Tüm kurum ve kuruluşlar biyoplastikler ve biyobozunma konusundaki çalışmalara olumlu katkı sağlıyor. Dolayısıyla tüm standartların uluslararası düzeyde birbirlerine uyumlu hâle getirilmesi konuyla ilgili küresel gelişmeler açısından büyük önem taşıyor.

Biyo bazlı içeriği tespit etmek için kullanılan standart testlerden bazıları biyo bazlı karbon içeriğini ya da biyo bazlı kütle içeriğini belirtiyor. İfadelerdeki ölçü birimleri arasındaki farklılıklar ürünler arasında karşılaştırma yaparken dikkatli olunmasını gerektiriyor. Malzeme ya da ürün, içeriğindeki biyo bazlı kütle içe-

riğine göre biyo bazlı olarak sınıflandırılabilir. Başka bir testte ise biyo bazlı karbon içeriği dışındaki kimyasal elementler (oksijen, azot gibi) temel alınıyor. CEN bu standardın sertifikasyon şemasının geliştirilmesi için çalışmalara devam ediyor. Standartlara uygun olarak yapılan testler sonucunda bazı sertifikasyonlar da verilebiliyor. TÜV (eski adıyla Vinçotte) ve DIN CERTCO sertifikaları bunlara örnek olarak gösterilebilir.

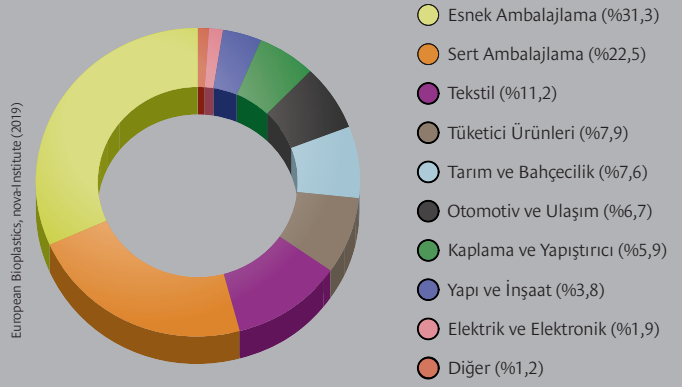
Biyobozunurluk ifadesi ise çevresel faktörler ve zaman aralıkları belirtildiğinde bir anlam taşıyor. Bu nedenle bir ürün ya da malzeme için biyobozunur ifadesi kullanılacaksa bunun hangi çevre koşullarında, ne kadar süre içerisinde ve hangi oranda gerçekleşeceğinin mutlaka belirtilmesi gerekiyor. Ürünlerde kullanılacak biyobozunurluk sertifikasyon ve etiketleme işlemlerinin standart bir hâle getirilmesi için küresel anlamda daha fazla çaba gösterilmesi kaçınılmaz gözüküyor.

Biyobozunma süreçlerinin çevresel faktörlere bağlı olması nedeniyle ürünlerde kullanılan "biyobozunur" etiketinin bozunma testlerinin gerçekleştirildiği koşulları net olarak belirtmesi gerekiyor.

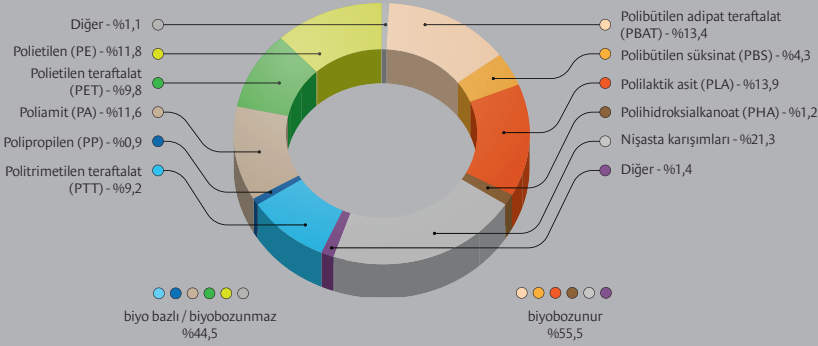
## Dünya Biyoplastik Pazarı

Günümüzde biyoplastik üretimi yıllık plastik üretiminin yaklaşık olarak %1'lik kısmına karşılık geliyor. Bu oran oldukça düşük görünmesine rağmen taleplerin ve ürün çeşitliliğinin artmasıyla birlikte biyoplastiklerin pazar hacmi sürekli olarak büyümeye devam ediyor. Son piyasa verilerine göre, 2019 yılında yaklaşık 2,11 milyon ton olan biyoplastik üretiminin 2024 yılında 2,43 milyon tona ulaşması öngörülmüyor.

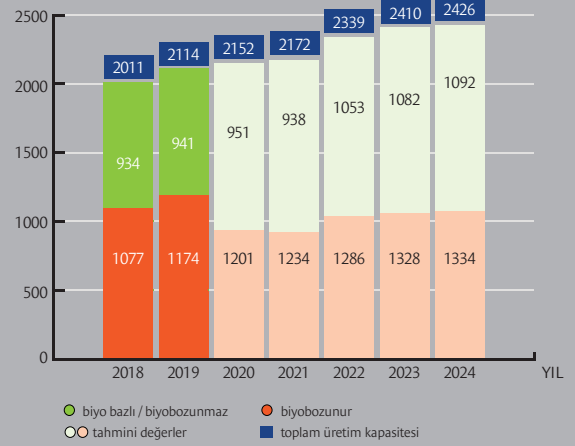
## Sektörlere Göre Küresel Biyoplastik Üretimi (2019)



## Malzeme Türüne Göre Küresel Biyoplastik Üretimi (2019)



## Küresel Biyoplastik Üretim Miktarları



Ayrıca biyobozunur ifadesinin sadece her türlü doğal ortamda makul bir zaman çerçevesi içinde karbondioksit, su, biyokütle ve inorganik tuzlara dönüşebilen ve toksik bozunma ürünlerine yol açmayan polimerler için kullanılması daha doğru olarak kabul görüyor.

Biyobozunur özelliği daha önce de belirtildiği gibi malzemenin kaynağına bağlı bir özellik değil. Doğrudan polimerin kimyasal yapısına bağlı olan bu özellik geri kazanım ve geri dönüşüm olanaklarını da beraberinde getiriyor. Örneğin, plastikler gerekli biyobozunur standartlarına sahipse bunların büyük bir kısmı endüstriyel tesislerde kontrollü olarak organik gübre hâline getirilebiliyor.

Eğer bir ürün kompostlanabilir (biyolojik olarak tamamen bozulabilir, gübreleşebilir) olarak etiketlenmişse bu ürünün aksi ifade edilmediği takdirde endüstriyel kompostlama tesislerinde gübre hâline gelebilmesi beklenmelidir. Kompostlanabilir sertifikası ile malzemeler okso-biyobozunur ya da benzer etiketlerle piyasaya sürülen ürünlerden ayrılır. Çünkü okso-parçalanma genel anlamda biyobozunur olarak değerlendirilmez. Bu süreçte plastiklere eklenen katkı maddeleri ile oksitlenmeye yol açılarak biyobozunur taklit edilir.

Ancak bu işlem malzemenin sadece daha küçük parçalara ayrılması ile sonuçlanır. Neticede doğada kirlenmeye yol açan bu tür malzemeler biyobozunur olarak sınıflandırılmaz.

Ürünlerdeki biyo bazlılık, biyobozunurluk ve kompostlanabilirlik sertifikaları bilinçli tüketicinin ürün tercihi üzerinde etkili olabiliyor. Bununla birlikte güvenilir sertifikalar ürünün kullanımından sonra doğru şekilde değerlendirilmesi açısından da büyük önem taşıyor. Ancak biyobozunurluk söz konusu olduğunda standartlar ve sertifikasyonlar gerekli bozunma koşulları ve zaman dilimlerini açık olarak ortaya koymakta hâlâ yetersiz kalıyor. Bu konuda kabul görececek standartlar ve sertifikasyonlar için araştırmalar devam ediyor.



## Biyoplastikler Nerelerde Kullanılıyor?

Doğal ya da yapay olarak sentezlenen biyoplastikler özelliklerine bağlı olarak pek çok yerde kullanılıyor. Bu plastikler de çoğu geleneksel plastik işleme teknikleriyle (film ekstrüzyonu, enjeksiyonlu kalıplama, şişme kalıplama, ısıl şekillendirme gibi) işlenebiliyor. Biyoplastikler petrol bazlı olarak üretilen plastiklerin kullanıldıkları her alanda kullanılabilir.

Ambalajlama sektörü plastiklerin oldukça fazla kullanıldığı bir alan. Bu sektörde özellikle biyobozunur plastiklerin kullanılması atık hacminin azaltılması bakımından büyük önem taşıyor. Paketlenen ürünün özellikleri ve istenilen depolama süresi dikkate alınarak üretilen uygun yapıdaki (hava ve ışık geçirgenliği, neme dayanım gibi çeşitli özelliklere sahip) biyobozunur plastikler, bardak, şişe, film ve atık torbaları gibi ürünler için de kullanılıyor.

Tıp alanında da biyoplastikler ve biyobozunur plastikler oldukça önemli bir yere sahip. Biyoyoumlu, biyolojik süreçlerde kolay bozulan ve aynı zamanda belirli bir mekanik dayanıma da sahip pek çok malzeme bu alanda başarılı şekilde kullanılıyor. Mevcut uygulamalar arasında cerrahi protezler, ameliyat iplikleri, yapay kemikler, membranlar, yara kaplamaları, kontrollü ilaç salım ürünleri sayılabilir. Gözenekli yapıdaki polimerler de doku mühendisliğinde yaygın kullanım buluyor.

Tarım uygulamalarında biyobozunurluk aranan bir özellik. Özellikle nişasta bazlı biyobozunur plastikler en yaygın olarak kullanılanlardan. Biyobozunur örtücü filmler nemi ve toprak sıcaklığını koruma ve yabancı otları engelleme gibi asli görevleri başarılı bir şekilde ger-

çekleştiriyor. Hasattan sonra bu filmler bozunma süreci ile yok oluyorlar. Biyobozunur polimerler ayrıca bitki ekim bantları olarak da kullanılıyor. Bu bantlarda bitki tohumları ve gübre bir arada bulunuyor. Filtrasyon ve drenaj uygulamalarının yanı sıra tarım alanlarında uygulanacak kimyasalların (böcek ilaçları, besleyici maddeler, feromonlar gibi çeşitli tarım kimyasalları) kontrollü bir şekilde salımı için de biyobozunur plastiklerden sıklıkla faydalanılıyor. Bunun yanında bitki saksıları ve gübre muhafazaları için de söz konusu malzemeler

oldukça kullanışlı. Örneğin, ekimi yapılacak bitki doğrudan kabıyla birlikte ekiliyor ve bitki büyümeye başladığında bu kaplar biyobozunmaya başlamış oluyor. Deniz tarımı uygulamalarında da destek zemin, halat ve balık ağları yapımında yine bu malzemelerden kullanılıyor.

Biyoplastikler otomotiv, havacılık, elektronik, inşaat gibi sektörlerde de kullanılıyor. Ancak biyobozunurluk bahsi geçen sektörlerde ilk etapta aranan özellikler arasında sayılmıyor. Otomotiv ve havacılık sektörlerinde biyoplastik ve biyokompozit kullanımı dayanıklı ve hafif parça tasarımları gerçekleştirilmesine yardımcı oluyor. Elektronik sektöründe ise elektronik cihaz bileşenlerinde ve kablo kaplamaları ile koruyucu dış kasaların yapımında geniş ölçüde biyoplastiklerden faydalanılıyor. Yanmaya, bakteri ve mantar oluşumuna ve UV ışınlarına dayanıklı biyoplastik malzemeler inşaat sektörünü şekillendiriyor, ses ve ısı yalıtımı için biyoplastik paneller kullanılıyor. Spor kıyafetleri ve malzemelerinde de biyoplastik malzemeler gün geçtikçe önem kazanıyor.



## Neler Yapılıyor - Neler Yapılmalı?

Endüstriyel plastikler genel olarak birçok uygulamada faydalı sayılabilecek şekilde uzun kullanım ömrüne sahipler. Ancak kontrolsüz bir şekilde bertaraf edildikleri durumlarda ise bu avantaj doğada birikme gibi bir dezavantaja dönüşüyor. Yapılan araştırmalar polietilen teraftalat (PET) şişelerin %100 bağlı nemde 27 ile 93 yıl arasında bir ömre sahip olduğunu gösteriyor.

Küresel tüketimin artmasıyla birlikte ambalajlama ve kısa süreli kullanım amaçlı plastik kullanımı da artmıştır. Yoğun plastik kullanımına bağlı olarak gelinen nokta gezegenimizi ve içinde yaşayan canlıları pek çok açıdan olumsuz etkiliyor. Hatta plastik atıklar (genellikle mikropplastikler olarak bilinen) daha küçük parçalara bölünerek nehirler aracılığı ile okyanuslara taşınıyor ve çöp yamaları olarak adlandırılan birikim bölgeleri oluşturuyorlar. Bu problemde daha fazla sorumlu olan ülkelerin bazılarında ise uygun atık yönetimi altyapısının kurulması çalışmalarına henüz yeni yeni başlanması kaygı uyandırıyor.

Biyoplastiklerin ve biyobozunur polimerlerin gelişimi daha çevreci bir kimya endüstrisinin oluşturulmasına yardımcı olacak gibi görünüyor. Endüstrinin bu doğrultuda doğru ve hızlı bir şekilde yapılandırılmasını sağlamak için üretilecek biyoplastiklerin ve biyobozunur plastiklerin maliyetlerinin geleneksel plastik malzeme maliyetleriyle kıyaslanabilir hâle getirilmesi gerekiyor. Bunu başarmak için de araştırma ve geliştirme çalışmalarına yatırım yapılması kaçınılmaz görünüyor. Elde edilecek yeni biyoplastik ve biyobozunur plastik malzemelerin kullanımıyla birlikte çevreye verilen zarar büyük ölçülerde azaltılabilir. Örnek vermek gerekirse 2020'deki PLA (polilaktik asit) üretim hacminin yılda 3,6 milyar kg olması bekleniyor. Bu ürünün petrol bazlı muadilinin yerini alması durumunda karbondioksit emisyonunda 10 milyon ton düşüş gerçekleşmesi öngörülüyor.

Avrupa Birliği 2018 yılı Ocak ayında 2030 yılına kadar sürdürülebilir bir plastik endüstrisi için vizyonunu ortaya koydu. Önümüzdeki süreçte plastik geri dönüşümü ile ilgili gelişmelerin yanında biyoplastik ve biyobozunur plastiklerin kullanımının artırılması ile ilgili planlamalar da bulunuyor.

Tüm bu gelişmeler küresel ölçekte yeni politikaların üretilmesi, üretici ve kullanıcı alışkanlıklarının değiştirilmesi, çevre temizlik çalışmaları ve bilinçlendirme kampanyaları gibi yeni girişimlerin ortaya çıkmasına neden oldu. Biyoplastiklerin ve biyobozunur polimerlerin çeşitlendirilmesi ve kullanımlarının yaygınlaştırılması yapılan mücadelenin önemli bir ayağını oluşturuyor. Biyoplastikler ve biyobozunur plastiklerle ilgili yayımlanan on binlerce araştırma makalesi, biyoplastik sentezi, bozunma mekanizmaları, çevresel faktörler ve bu faktörlerin bozunmaya etkileri gibi çeşitli konulardaki araştırmaların hızlı bir şekilde sürdürdüğünü gösteriyor. Tüm bu çalışmaların amacı endüstriyel polimerlerin yerini mümkün olduğunca çabuk ve yaygın bir şekilde çevre dostu plastiklerle doldurmak.

Yakın gelecekte biyoplastiklerin ve biyobozunur plastiklerin, petrol bazlı plastiklerin yerini tam olarak alması da daha fazla kullanım bulmaları bekleniyor. Günümüzde pek çok alanda faydalanılan bu malzemelerin daha fazla kullanımını sağlamak için araştırma ve çalışmaların sürdürülmesi gerekiyor. Diğer taraftan doğaya verdiğimiz tahribatın boyutlarını azaltması beklenen biyoplastik ve biyobozunur plastiklerin bütün sorunu ortadan kaldırmasını beklemek çok da gerçekçi görünmüyor. Daha sürdürülebilir çözümler için tüm paydaşlar olarak günümüzdeki plastik üretim/kullanım ve kullanım sonrası alışkanlıklarımızı değiştirmemiz gerekiyor. ■

### Kaynaklar

- Stuart, B. H., "Polymer Analysis", John Wiley & Sons, 2002.
- Haider, T.P., Völker, C., ve ark., "Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society", *Angew. Chem. Int. Ed.*, Sayı 58, s. 50-62, 2019.
- Karan, H., Funk, C., ve ark., "Green Bioplastics as Part of a Circular Bioeconomy", *Trends in Plant Science*, Cilt 24, Sayı 3, s. 237-249, 2019.
- Shah, T.V., Vasava, D.V., "A glimpse of biodegradable polymers and their biomedical applications", *e-Polymers*, Sayı 19, s. 385-410, 2019.
- Garrison, F.T., Murawski, A., ve ark., "Bio-Based Polymers with Potential for Biodegradability", *Polymers*, Cilt 8, Sayı 262, 2016.
- Doppalapudi, S., Jain, A., ve ark., "Biodegradable polymers-an overview", *Polymer Advanced Technologies*, 25, 427-455, 2014.
- Vroman, I., Tighzert, L., "Biodegradable Polymers", *Materials*, Sayı 2, s. 307-344, 2009.
- Gross, R.A., Kalra, B., "Biodegradable Polymers for the Environment", *Science*, Cilt 297, s. 803-807, 2002.
- Emadian, S.M., Onay, T.T., Demirel, B., "Biodegradation of bioplastics in natural environments", *Waste Management*, Cilt 59, s. 526-536, 2017.
- Luckachan, G.E., Pillai, C.K.S., "Biodegradable Polymers-A Review on Recent Trends and Emerging Perspectives", *Journal of Polymers and the Environment*, Cilt 19, s. 637-676, 2011.
- Vert, M., Doi, Y., ve ark., "Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012)", *Pure and Applied Chemistry*, Cilt 84, Sayı 2, s. 377-410, 2012.
- <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>
- <https://www.bbc.com/future/article/20191030-why-biodegradables-wont-solve-the-plastic-crisis>
- [http://www.plasticeurope.org/fileadmin/files/EN\\_Certificiranje\\_PH.pdf](http://www.plasticeurope.org/fileadmin/files/EN_Certificiranje_PH.pdf)
- [https://www.plasticeurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL\\_web\\_version\\_Plastics\\_the\\_facts2019\\_14102019.pdf](https://www.plasticeurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf)
- [https://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EUBP\\_FS\\_Standards.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/publications/fs/EUBP_FS_Standards.pdf)