

Hangisi Daha Yeşil, Hangisi Daha Çevre Dostu?

Kübra TÜTÜNCÜ

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi

Prof. Dr. Veli DENİZ

Kocaeli Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü

Plastikler hayatımızın her aşamasında yanı başımızdalar. Sabahları kullandığımız diş fırçalarımızdan, günün sonunda taşıdığımız çöp torbalarına kadar hep bizimle birlikte. Plastiklerin geçmişiyile ilgili önemli birkaç kilometre taşından bahsedecek olursak; ilk plastik sandviç paketlerinin 1957 yılından itibaren kullanılmaya başlandığını, PET (polietilen tereftalat) soda şişeleri için 1973'te ilk kez patent alındığını görüyoruz. Geçen bu 35 yıl içinde PET şişelerin günlük yaşamımızda büyük bir yer tuttuğunu ve böyle devam edeceğini söyleyebiliriz. Plastik malzemeler, çevresel etkilerine dikkat edilmeksizin, yavaşça günlük yaşamımızın vazgeçilmez parçası haline geldiler.

Her yıl dünya çapında yaklaşık olarak 500 milyar ile 1 trilyon arasında plastik torba kullanılmaktadır. Bu miktar tahminen her dakikada 1 milyon plastik torbanın kullanımı demektir. Bu da bize günlük yaşamımızın yavaşça nasıl plastikleştiğini daha açıkça göstermektedir. Ancak üzücü olan, plastiklerin bu kadar "kaçınılmaz ve korkunç" bir şekilde hayatımıza girmesi değil, henüz plastik geri dönüşüm oranlarının istenilen düzeye ulaşmamış olmasıdır. Geri dönüşümü olanaklı plastiklerde bile geri dönüşüm miktarları çok düşük düzeylerde kalmaktadır. Bulunuşlarından beri plastik malzemeler tüketiciler tarafından gittikçe daha fazla kullanılmaktadır[1]. Bilim adamları, teknologlar bir yandan yeni

plastik malzemeler geliştirmekte, öte yandan mevcut malzemelerin dayanımlarını artırmak için çaba harcamaktalar. Ancak, bu malzemelerin kullanımı tamamlandığında, atıkların giderimi (bertarafı) önemli bir sorun olarak karşımızda durmaktadır.

Kullanılmış malzemelerin geri dönüşümüyle, üretim maliyetini düşürme fikri, plastiklerin geri dönüşümüyle ilgili altın maden niteliğinde bir düşüncedir. Ancak, bu düşünce tam anlamıyla gerçeğe dönüştürülememiştir. Günümüzde plastiklerin geri dönüşümü alanında birçok teknolojik ilerleme ve yeni pazar fırsatları söz konusudur. Fakat geri dönüşümü yapılacak malzemelerinin devamlılığı ve sürdürülebilirliği ile ilgili sorunlar henüz çözülememiştir. Bu nedenle yeni plastik geri dönüşüm girişimlerinin ekonomik olarak karlılığı ve sürdürülebilirliği ile ilgili endişeler mevcuttur.

Gerçekte bu durumun suçlusu plastik malzemenin kendisi değildir. Asıl sorunlar, malzemenin planlı olarak kullanımından sonra ortaya çıkmaktadır. Yaklaşık olarak tüketilen plastiklerin %75'i geri dönüştürülmemektedir. Bu malzemelerin geri dönüştürülmesi için birçok yöntem bilinmektedir. Fakat bir tane şişe için dahi "geri dönüşüm" bilincinin oluşturulması için tüketicilerde bir duyarlılık ve mekanizma geliştirilmek zorundadır. Bunun dışında; yenilenebilir kaynaklardan elde edilen



biyoplastik malzemeler, enerji tüketimine bağlı çevresel etkilerin ciddi oranlarda düşürülmesine yardımcı olacak şekilde geliştirilmektedirler[2].

Biyoplastik malzemeler kullanım açısından geleneksel plastiklerle aynı başarıyı (performansı) vererek, biyolojik bir çevrim içerisinde geri dönüştürülebilmektedir. Bugünlerde biyoplastikler ve özellikle nişasta bazlı plastikler (polilaktik asit gibi), biyobozunurluğun gerekli olduğu hızlı servis ürünleri, ambalajlama, tarım ve hijyen ürünlerinin paketlenmesi gibi alanlarda kullanım olanağı bulmaktadır. Biyobozunurluğun dışında geleneksel ürünlere karşı gelişmiş teknik özelliklerinden dolayı

biyoplastikler başka yeni sektörlerde de gittikçe önemli hale gelmektedir. Çevresel kaygılar arttıkça yenilenebilir doğal kaynaklardan üretilen biyobozunur polimerlere olan ilgi de gün geçtikçe artmaktadır.

Yapay Polimerlerin Çevresel Etkileri

Yapay polimer endüstrisi modern topluma büyük yarar sağlamıştır. Örneğin gıda maddelerinin ve diğer dayanıksız tüketim eşyalarının paketlenmesi ve dağıtımında, ticari termoplastik polimerler, su sevmeyen(hidrofobik) ve biyolojik olarak etkisiz olmalarından dolayı modern perakende satış için gerekli hale gelmiştir. Benzer olarak plastikler tarımda, büyük oranda cam malzemelerle yer değiştirmiş durumdadır, yumuşak sebze ve meyvelerin büyütülmesinde ince film halinde polimerik malzemeler benzersiz yer tutmaktadır. Ambalajlama ve tarımda yer tutan ana polimer grubu, peroksitlemeye su ve mikroorganizmalara karşı dayanımları ve kullanımları boyunca dayanıklı olmalarından dolayı poliolefinlerdir(polietilen, polipropilen, PVC vb.). Zamanla teknik üstünlüklerinden dolayı çok kullanışlı hale gelen polimerler, kullanım süreleri sona erdikten sonra, atık olarak çevrede büyük kirlilik haline gelmeye başlamıştır. Plastik malzemelerin bu etkileri canlı yaşamını tehdit eder hale gelmeye başlayınca, "yeşil" hareketle birlikte yenilenebilir biyobozunur polimerler(biyoplastik) önem kazanmıştır[3]. Günümüzde artık malzeme biliminde herhangi bir malzemenin çevreye olan etkisi, o malzemenin ne

kadar "yeşil" olduğunu ifade etmektedir. Beşikten mezara kadar malzemenin yaşam döngüsü içinde, bir başka deyişle malzemenin üretiminden, atığının giderimine kadar ne kadar enerji tükettiği, kullanılan enerjinin yeni-

lenebilir kaynaklardan sağlanıp sağlanmadığı veya üretim esnasında zehirli, tehlikeli kimyasallar kullanılıp kullanılmadığına göre "ne kadar yeşil" olduğu konusunda karar verilebilmektedir. İşte, bu bakış açısı; Yeşil Teknolojiler, Yeşil Plastikler gibi yeni kavramların doğmasına neden olmuştur. Bu yeni yaklaşımda, atık oluşumu, enerji ve doğal kaynak kullanımının azaltılması gibi birçok konuda çaba sarf edilmesi gerekmektedir. Yeşil kimya yaklaşımının tüm akademik çevreler ve endüstri tarafından kabul gören 12 temel ilkesi vardır[4].

Ülkemizin karşı karşıya kaldığı atık sorunu zaman zaman medyada da yer almaktadır. Ancak gerçekte plastik atıklar henüz atıktan bile sayılmamaktadır. Nasıl bir sorunla karşı karşıya olduğumuzu evimize her gün giren plastik malzeme miktarına göz atıp, bunu 17 milyonla çarparak (ortalama aileyi 4 kişi aldığımızdan) tahmin edebiliriz. Önemli bir atık sorunu ile karşı karşıyayız değil mi? Ama üzülmenin sorunun çözümüne çare olmadığını biliyoruz. Bir seçim yapmamız gerek: Ya bu atıkları azaltacağız ya da bu güzelim ülkemizi dev bir çöplüğe çevireceğiz. Bir taraftan tükettiğimiz gıdaların korunması için ambalaja gereksinim duyarken diğer taraftan kendimizi yeni bir sorunla, atık sorunu ile yüzyüze buluyoruz. Ne yazık ki henüz geri kazanılabilir atıkların ayrı toplanabilmesi ve ekonomiye kazandırılabilmesi konusunda yeteri kadar bilinçli davranmamaktayız. Bu bilince erişmiş bir avuç insanımız ise alt yapı eksikliği yüzünden atıklarını ayırtıramamaktadır.

Geri Dönüşüm

Geleneksel malzeme endüstrisinde, endüstriyel atıkların tekrar işlenmeleri ve buna benzer işlemlerin polimer atıkların ikincil kullanımları için uygun hale getirilmeleri 1970'lerden beri polimerlerin araştırma alanındadır. Ancak bu fikirde geri dönüştürülen endüstriyel polimerlerin, geri dönüştürülen diğer malzemeler olan cam ve metal gibi % 100 kullanılmasının her zaman olanaklı olmadığı göz ardı edilmek-



tedir. Genel olarak polimerlerin her tekrar işlenmesinde peroksitlemeye bağlı olarak fiziksel ve mekaniksel özelliklerinde bir kayıp oluşmakta ve malzeme ancak bir alt sınıf olarak kullanılabilir. Geri dönüşüm

Tekrar işleme sürecinde kullanılan enerjiye, atığın temizlenme ve taşınmasındaki enerjiyle birlikte, kullanışlı bir ürün sağlamak için katkı maddelerinin de eklenmesiyle geri dönüşüm sürecinin ekolojik faydaları kaybolmaktadır. Başka bir deyişle yeşilliği azalmaktadır. Evsel atık plastik malzemelerin geri dönüşümü özellikle farklı tür plastiklerin karışımı olduklarında veya biyolojik olarak kalıntı bıraktıkları durumlarda kullanımı daha da sınırlandırılmaktadır. Karışık plastik atıklardan çok özel üretim ekipmanları kullanılarak mühendislik malzemeleri üretilmektedir (örn. güverte, bank vb. malzemeler). Ancak bunu gerçekleştirmenin ekolojik faydaları konusunda ciddi çekinceler bulunmaktadır. Örneğin karışık ambalaj atığının geri dönüşümü hakkında yapılan bir çalışmada, geri dönüştürülmüş malzemelerin geleneksel malzemelerle rekabet edebilmesi için aynı başarıyı (performansı) vermesinin dışında yerini aldığı malzemelerden 3.3 kat daha uzun ömürlü olması gerektiği ileri sürülmektedir[5]. Aslında ilk bakışta tüketilmiş atık malzemelerin geri dönüşümü "yeşil" bir işlem olarak gözükse de pratikte, ikincil olarak kullanılan plastik malzemelerin mekanik özelliklerinde ve dayanımlarında saf polimerlerden üretilen malzemelere göre bir düşüş olduğundan, kullanım ömrünün uzatılması gerekmektedir.

Yakma, finansal olarak atık plastiklerin yakıt olarak satılmasıyla bir kazanç sağladığından bazı çevreler tarafından tercih edilen bir geri dönüşüm yöntemidir. Fakat, pek çok gelişmiş ülkede ve bizde, yakma sürecine karşı duyulan güvensizlikten dolayı bu yolla atıktan enerji elde edilmesi giderek sınırlandırılmaktadır. Ancak sadece hidrokarbon polimerlerin, yakmayla karbondioksit ve su oluşturdıkları için, 'temiz' malzemeler olarak kabul edildiği, bunun dışındaki diğer plastiklerin yanma sonunda zehirli gaz ürünler verebileceği de dikkate alınmalıdır.

Bu yazıda giderim yöntemlerinin kıyaslanması ve eksikliklerinden daha çok, vazgeçemediğimiz plastik malzemelerin nasıl "yeşilleştirilebileceği" üzerinde durulması ve yeni yaklaşımlar konusunda bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Biyolojik Geri Dönüşüm

Doğal ürünler ve bunların atıkları biyolojik olarak bozunarak doğal karbon çevrimine geri dönerler. Bu çevrimde ilk ürün tohum olarak işlev gören biyoküttür. Biyokütle oluşturma, ayrıca karbonu daha genişletilmiş bir sistemde bağlayarak yakmaya kıyasla daha fazla çevresel yarar sağlamaktadır. Organik atıkların doğal olarak ayrıştırıldığı ve giderildiği bu doğal sürecin kullanımı ile geleneksel olarak kullanılan mekanik geri dönüşüm ve yakmayla enerji kazanımına göre önümüzdeki yıllarda daha fazla tercih edilebileceği düşünülmektedir. [5].

Eğer yapay polimerler bu sisteme dahil edilmek isteniyorsa, polimerler üzerinde yapılacak bazı değişikliklerle tamamen biyobozunabilir hale getirilmelidir. Günümüzde üretilen ticari ambalajlama polimerleri, gerçek zaman ölçeğinde (içerisinde koruyucu-antioksidanlar- içerdiği için) biyobozunur değildir. Bu sorunun çözümü, aynı anda hem tüketicinin gereksinimleri karşılayabilen ve hem de kullanıldıktan sonra biyolojik çevrime katılabilen polimerik malzemelerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Polimerler(daha doğ-

rusu plastikler) üretim ve kullanım sırasında kararlı yani çok dayanıklı, ama aynı zamanda kullanımı sona erdikten sonrada kolayca bozunabilen türde olmalıdır.

Polimerlerin biyolojik bozunması polimerin doğasına ve çevre koşullarına bağlı olarak iki temel yöntemle gerçekleşir. Bu yöntemlerden ilki hidro-biyobozunma; canlı veya cansız hidroliz mekanizmalarıyla gerçekleşir. Biyobozunma aşamasında nişasta, selüloz ve polilaktik asit ile poli(hidroksialkonatlar) gibi tipik alifatik polimerlerin yer aldığı başlıca süreçtir. İkinci mekanizma ise biyobozunma evresinde düşük mol kütleli (daha yumuşak, erime akış indeksi düşük) ürünlerin peroksitlendiği havalı ortamdaki biyobozunma(okso-biyobozunma)dır. Bu mekanizma genel olarak karbon zincirleri üzerine uygulanır. Biyobozunma uygun koruyucuların(antioksidanlar) doğru kullanımıyla kontrol altında tutulabilir[3].

Günümüzde yukarıda bahsedilen plastik atıkların % 25'i geri dönüşüm süreçleriyle toparlanmaktadır ve Avrupa'da geri dönüşüm çevrimine giren plastiklerin % 65'i yakma sistemi, kalanı ise ikincil hammadde ve ürünlere dönüştürülmektedir. Yani kalan % 75'lik kısım çöp alanlarına dönmektedir. Buna göre polimerlerin biyolojik çevrime katılması geleneksel geri dönüşüm sistemlerinin kullanılmasına bir alternatif olarak dikkate alınmalıdır. Bu durum yaklaşık 30 yıldır kimyacıları, kullanımdaki genel amaçlı polimerlerin yukarıdaki anlatıldığı biçimde düzenlenmesi ve/veya kullanıldıktan sonra biyolojik çevrime kısa sürede katılabilen yeni polimerik malzemeler sentezlenmesi konusunda kamçılamaktadır[6].

Biyobozunur Polimerlerin Uygulama Alanları

Geçmiş 20 yıllık zaman diliminde bozunabilen polimerler için iki farklı uygulama alanı ortaya çıkmıştır: Birincisi, biyobozunurluğunun ürünün bir işlevi (fonksiyonu) olduğu durumdur. Buna örnek olarak ma-



liyeti önemli olmayan, yaralara uygulanan geçici dikişler ve kontrollü ilaç salınımı sistemleri verilebilir. İkinci uygulama ise daha fazla yer tutan ambalajlama polimerlerinde görülmektedir. Perakende satıcılar sıklıkla ambalaj malzemelerinin geri dönüştürülebilir olduğundan dolayı 'çevre dostu' olduğunu vurgulamaktadırlar. Ancak polimerler tekrar işlemeye uygun olmadığı müddetçe üreticilerin bu söylemleri anlamsız kalmaktadır. Şimdilerde araştırmacılar tarafından çalışılmakta olan, havalı ortamda bozunma/aerobik bozunma (okso- biyobozunma), plastik atıkların geri kazanımı konusuna uygun yeni bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır.

Biyolojik kaynaklara dayanan polimerlerin, aynı zamanda biyobozunur da oldukları için yapay polimerlere kıyasla daha 'yeşil' olduğu düşünülür. Yenilenebilir kaynakların kullanılması hakkındaki tartışma başlangıçta sadece polimerlerin çevreye olan karbon dioksit yükü üzerinde yürütülmüştür. Bu işin sadece bir yönüdür. Öte yandan biyolojik kaynaklardan polimer üretimi esnasında taşıma, üretim ve işleme süreçleri sırasında enerji kullanımı giderek artmaktadır. Bu durumda değerlendirmenin çok dikkatli ve tüm etkenlerin göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir.

"Yaşam Çevrimi Değerlendirmesi(Life Cycle Assessment-LCA)" eş değer malzemelerin ekolojik etkilerinin karşılaştırılması açısından kullanışlı bir yaklaşımdır. Bu değerlendirme, dört ana ölçüt(kriter)

kullanılarak yapılmaktadır. Bunlar; enerji tüketimi, hava kirliliği, su kirliliği ve atık üretimidir. Bir malzeme için yaşam çevrimi değerlendirmesi; hammaddeler, süreçler ve son ürünler üzerine uygulanarak ekolojik olarak karşılaştırılabilirliğini sağlamaktadır. Yaşam Çevrimi Değerlendirmesi (LCA), 1993 yılında Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından başlatılan bir program olup, bir ürünün üretilmesi için gerekli malzeme ve enerji girdileri ve çıktıların çözülmesini (analizini) esas alan bir analitik tekniktir. Bu standard TSE tarafından da "Hayat Boyu Değerlendirme" adıyla yayınlanmıştır[7]. Bu teknikte, herhangi bir maddenin beşikten mezara kadar çevreye olan olumlu ve olumsuz tüm etkileri göz önüne alınarak değerlendirilir. Böylece karşılaştırılan iki maddeden hangisinin daha çevre dostu olduğuna karar verilir. Genel olarak polimerik malzeme üreticileri için ekolojik kabul edilebilirlik ve maliyet arasında birincil öneme sahip bir ilinti (korelasyon) söz konusudur. Kirlenme maliyetleri yasalarına göre malzeme ömrünü tamamladıktan ve gideriminden sonra yan ürünleriyle birlikte çevresel olarak kabul edilebilir olmalıdır. Ambalajlamada kullanılan kağıt ve plastik malzemelerin çevresel etkileri karşılaştırıldığında kağıt üretimi için plastiklere oranla iki kat fosil yakıt tüketilmektedir. Ayrıca selülozun işlenmesi sonucu polietilen malzemelere oranla iki kat daha fazla kükürt dioksit oluşmaktadır. Bunlardan başka, eğer yakılarak giderildiği takdirde kağıdın ısı değerinin polietilen malzemedan daha düşük olduğu ve daha az enerji ürettiği bilinmektedir[5]. Şimdi hangi malzemenin daha "çevre dostu" olduğunu veya han-



gisinin "daha yeşil" olduğunu sorgulama zamanı gelmedi mi?

Yaşam çevrimi değerlendirmesi ürünün planlanan kullanım amacı için uygunluğunu dikkate almaz, fakat yeni biyobozunur polimerlerin varlığını ve gelişimini sürdürülebilirliği için bu temel etkidir. Biyobozunurluk biyolojik olarak elde edilen polimerlerin kabul görmesini etkileyen etkenlerden sadece biridir. Biyopolimerler çok özel teknolojik amaçlar için değil, sadece kolayca bozunabilecek şekilde geliştirilmektedir. Bir polimerik malzemenin biyolojik uyumluluğu arttıkça ambalaj malzemesi olarak daha kullanışlı hale gelmektedir. Bu nedenle ambalajlama sektöründe kağıt malzemelerin yerini büyük ölçüde poliolefinler almaya başlamıştır[3].

21. Yüzyılda "Yeşil" Polimerler

Yukarıda "yeşil" polimerler hakkındaki ilerlemeleri farklı açılardan ele aldık. Biyopolimerler su ile biyobozunma (hidro-biyobozunma) ile biyolojik olarak parçalanabilen doğal ürünlerdir. Ancak teknolojik olarak uygun kullanım alanı bulabilmeleri için kimyasal olarak da işlenmeleri gerekmektedir. Ticari polimerlerin çeşitli işlemlerden sonra havalı ortamda biyobozunur (okso-biyobozunur) hale getirilmeleri memnuniyet verici bir teknolojik gelişme olarak görülmektedir. Üretim ve son kullanım işlemlerinin karşılaştırılmasının ardından poliolefinler biyolojik tabanlı malzemelere

göre "daha yeşil" olarak görünmektedir[3]. Genel olarak poliolefinler, ısı geri kazanımıyla yakılabilen veya mekanik olarak enerji içeriği kullanılmak üzere geri dönüştürülebilen, geri kazanım ve çevrim işlemlerinde daha fazla enerji sağlayan malzemelerdir. Geliştirilmiş biyobozunur poliolefinler yaklaşık 20 yıldır tarım ürünlerinde ticari olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin bazıları ince film ve lif üretiminde, geleneksel poliolefinlerle tamamen aynı teknolojik davranışlar (işleme başarımı, mekanik özellikler vb.) göstermektedir. Bu malzemelerle ilgili gelecekteki uygulamalar genelde tarım ve özellikle ambalaj sektöründe kendini gösterecektir.

Plastiklerin "yeşilleştirilmesi" için akademik ve teknik çalışmalar devam ettikçe, dünyamız daha da yeşilleşecektir.

Kaynaklar

1. Spokas, K. "Plastics- Still Young, but having a Mature Impact", *Waste Management*, Sayfa 51-56, (2006)
2. Bastioli, C. "Global Status of the Production of Biobased Packaging Materials", *Starch/ Staerke*, Volume 53, Sayfa 351-355, 2001
3. Scott, G. "Green Polymers", *Polymer Degradation and Stability*, Volume 68, Sf. 1-7, (2002)
4. Anastas, P. T. Warner, J. C. "Green Chemistry: Theory and Practice", Oxford University Press, Oxford, (1998.)
5. Nanda, P ve ark. "Biodegradable Polymers: Spectral, thermal, morphological and biodegradable properties of environment-friendly green plastics of soy protein modified thiosemicarbazide", *Journal of Applied Polymer Science*, Volume 103, Sayfa 3134-3142, (2007)
6. Gonzales-Torre, P. ve ark. "Environmental and reverse logistics policies in European bottling and packaging firms", *International Journal of Production Economics*, Cilt 88, Sayfa 95-104, (2004)
7. TS-ISO 14040 Çevre Yönetimi-Hayat Boyu Değerlendirme- Genel Prensipler ve Uygulama, TSE (Eylül 1995) ♻️

