

# SÜRDÜRÜLEBİLİR TASARIM YAKLAŞIMI AÇISINDAN BİYOPLASTİKLERİN İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Esin DÜZAKIN\*

**Özet:** Sürdürülebilir tasarım yaklaşımına göre tasarım alanı her ne olursa olsun, önemli konulardan biri malzeme seçimidir. Yenilenebilir kaynakların korunması, üretimi esnasında fosil kaynaklı yakıtların kullanımı, insan ve doğadaki canlı metabolizmalarına etkileri, geri dönüşüm kapasitesi, atık hale geldiğinde bertarafı esnasında ortaya çıkan materyallerin nitelikleri, kısacası çevreye etkisi, malzeme seçimini önemli kılan kriterlerdir. Plastikler o denli yaygın olarak kullanılmaktadır ki yaşadığımız çağı “plastik çağı” olarak adlandırabiliriz. Buna paralel olarak da, plastikler çevre için büyüyen bir sorun olmaya devam etmektedir. Plastiklerin neden olduğu sorunlara çözüm olacağı öngörülerek, petrol kaynaklı plastiklere alternatif olarak geliştirilen biyoplastiklerin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. “Çevre dostu” olarak tanımlanan biyoplastiklerin üretiminde kullanılan biyo-esaslı materyallerden bazıları gıda olarak da ekonomik değeri olan malzemelerdir. Dolayısıyla çevre etki değerlendirmesinde çok yönlü ve kapsamlı bir analiz gerekmektedir. Ekonomik maliyetinin yanısıra, gerek gıda güvenliğini tehdit etmesi, gerekse tarımsal üretimi sırasında kullanılan bir takım kimyasallar dengeleri değiştirebilecek faktörlerdir. Biyoplastiklerin bütünüyle petrol kaynaklı plastiklerin yerine geçip geçemeyeceği tartışılan bir konudur. Bu konuda yapılan araştırmalar petrol kaynaklı plastiklerle biyoplastikleri karşılaştırarak üstünlüklerini ortaya koysa da, gerçek hayatta çevreye etkisinin umulduğu kadar olumlu olmadığını görmektedir. Biyoplastiklerin çevreye olan etkilerinin olumlu yönleri yanısıra olumsuz etkilerinin de tartışıldığı literatür taraması ile biyoplastiklerin sürdürülebilir tasarım yaklaşımı kapsamında daha nesnel bir gözle değerlendirilmesine katkı sağlamak amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Biyoplastikler, Biyoçözünür Plastikler, Sürdürülebilir Tasarım, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

Geliş Tarihi: 26.06.2020 Kabul Tarihi: 10.12.2020 Makale Türü: Derleme

\*Marmara Üniversitesi G.S.F. Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü/ K.Çamlıca Acıbadem Cad./ Kadıköy /İstanbul  
esin.duzakin@marmara.edu.tr. ORCID ID: 0000-0003-0205-4152

# ASARIM

## DESIGN

### INVESTIGATION OF BIOPLASTICS IN TERMS OF SUSTAINABLE DESIGN APPROACH

Assoc. Prof. Esin DÜZAKIN\*

**Abstract:** The choice of material is one of the most important issues in terms of sustainable design approach regardless of the field of design. The protection of renewable resources, fossil-based fuel usage during production, their effects on humans and other organisms in nature, recycling capacity, the chemicals that emerge during waste disposal, in short, the environmental impact is out most importance in selection of materials. Plastics are used so widely that we can call the age we live in as the “plastic age” however plastics continue to be a growing problem for the environment. The use of bioplastics developed as an alternative to their petroleum-based counterparts has become widespread, with the expectation of solving problems caused by conventional plastics. The raw materials used to produce some bioplastics are also sources of food for human consumption. Therefore, a comprehensive study is much needed in terms of life cycle assessment. In addition to economic costs, both threats to food safety and some nature of chemicals used in agricultural production are factors that can change the balance. Whether bioplastics are completely environmentally friendly alternatives to petroleum-based plastics is a debatable issue. Although research reveal certain advantages to using bioplastics, in real life so far the effect on the environment has not proved to be as positive as expected. A literature review analyzing both the possitive and the negative aspects of the bioplastics is conducted so that a more objective perspective can be achieved in accordance with sustainable design principles.

**Keywords:** Bioplastics, Biodegradable Plastics, Sustainable Design, Life cycle Assessment

Received Date: 26.06.2020 Accepted Date: 10.12.2020 Article Types: Review Article

\*Marmara University G.S.F. Department of Industrial Design/ K.Çamlıca Acıbadem Cad./ Kadıköy /İstanbul  
esin.duzakin@marmara.edu.tr. ORCID ID: 0000-0003-0205-4152

## 1. GİRİŞ

Bugün artık sürdürülebilirlik, çevreye, doğadaki canlılara ve insana duyarlı tüm yaklaşımların odağında yer almaktadır. Sadece endüstriyel tasarım alanında değil tüm tasarım alanlarında sürdürülebilir tasarım anlayışı, “beşikten-mezara” yaklaşımı yerine “beşikten-beşiğe” yaklaşımını yani doğal döngü ile uyumlu malzeme kullanımını gerektirmektedir. Üretiminde petrol kaynaklı maddelerin kullanıldığı plastiklerin, üretimi sırasında atmosfere karbon salınımını artırmaları, atık olduklarında doğada uzun süre bozunmadan kalmaları, kanserojen ve toksik etkileri ile besin zincirine dâhil olmaları nedeniyle ekosistem için tehlike oluşturmaktadır. Bununla birlikte kullanımı her geçen yıl katlanarak artmaktadır. Plastik atıkların geri dönüşümü mümkün olmakla birlikte, maalesef 1950’lerden buyana dünyada üretilen toplam plastiğin ancak % 10’u geri dönüştürülebilmıştır (http-2 Ataş, 2019). Plastiğin geri dönüşüm oranları bölgelere göre farklılık göstermekle birlikte gelişmiş ülkeler geri dönüşümü için uğraşmak istemedikleri plastik atıklarını geliştirmekte olan ülkelere ihraç etmektedirler. İhraç edilen atık plastiklerse gereği gibi dönüştürülemediği gibi, büyük bir kısmı doğaya bırakılmaktadır. Plastik atıklar gün geçtikçe büyüyen bir çevre sorunu olarak gezegenimizin geleceğini tehdit eder hale gelmiştir.

Plastiğin modern tıp, ulaşım ve iletişim teknolojileri dahil pek çok hayati alanda özellikle 20.Yüzyılda devrim niteliğinde gelişmeler sağladığı bir gerçek. Malzeme özellikleri nedeniyle de endüstriyel tasarım çözümlerinde de tercih edilen bir malzemedir. Ancak hala üretimi için petrol ve kömür gibi fosil yakıtların kullanılıyor olması, iklim değişikliğine sebep olan karbondioksit (CO2) salınımına neden olmaktadır. Bununla birlikte, petrol kaynaklı plastiklere alternatif olarak pek çok farklı yöntem ve malzeme kullanılarak çevre dostu plastikler

olarak tanımlanan biyoplastikler, geliştirilmeye devam etmektedir. Çevre dostu olarak tanımlanan bu plastiklerin de kullanımı çevreye duyarlılığın yükselmesiyle gün geçtikçe daha da artmaktadır. Ancak bu plastiklerin de mutlak çözüm olduğunu söylemek zor. Çevre sorunları açısından nihai çözüm olmadığını bilmenin yanı sıra, kullanımı ve atık yönetimi sağlıklı yapılmadığı sürece çevre sorunlarına neden olmaya devam edeceği görülmektedir. Petrol kaynaklı olarak tanımlayabileceğimiz konvansiyonel plastikler karşısında biyoplastiklerin mutlak bir alternatif olup olmadığına karar verebilmek için insan sağlığına ve ekosisteme ne gibi etkilerinin olduğu, avantaj ve dezavantajları ilgili çeşitli araştırmalar ve değerlendirmelere bakmak gerekiyor. Sürdürülebilir tasarım yaklaşımında biyoplastiklerle ilgili daha nesnel değerlendirme yapmaya katkı sağlaması açısından, biyoplastiklerin olumlu yanları yanısıra çevre korunmasına ne gibi olumsuz etkilerinin olduğuna dair bir literatür taraması ile konu hakkında derleme çalışması yapılmıştır.

## 2. PLASTİKLER:

Plastik, endüstriyel nesnelere üretimine uygun, geniş yelpazedeki sentetik ya da yarı sentetik, organik, şekil değiştirebilen katı malzemelere verilen genel isimdir (Purde, 2007, s. 33). Birtakım katkı maddeleriyle performanslarını arttırmak veya maliyetlerini düşürmek de mümkündür. Teknolojinin ve endüstrinin talep ettiği niteliklere göre pek çok farklı nitelikte plastik türü geliştirilmiştir.

Kolay şekillendirilebilmeleri, hafif ve dayanıklı oluşları, elektrik akımını, sıcaklığı ve soğukluğu yalıtabilme özellikleri, birçok kimyasal madde karşısında dayanıklı oluşları ve yeniden kullanılabilme, geri dönüştürülebilme özellikleri nedeniyle günümüzde plastik pek çok ürün için tercih edilmekte, pek çok uygulama alanı bulmaktadır. 2019 yılında yayınlanan verilere

göre Dünya çapında yılda 359 milyon ton plastik tüketildiği belirtilmektedir (http-4 Garside, 2019). Bu miktardaki plastiğin kullanımı sonrası da yaklaşık % 2'sinin, yani yaklaşık 7 milyon ton kadarının her yıl atık olarak denizlere karıştığı tahmin ediliyor. "Son kullanıcı plastik atıklarının % 60'dan fazlasını ise ev tipi; birçoğu da tek kullanımlık plastik ambalaj olan ürünler oluşturmaktadır" (http-7 Yelken, 2020)

Plastik malzemelerin üretimi suni reçineler keşfedilmeden önce lastik ve selüloz temelli tamamen doğal malzemeler ile yapılıyor fakat orta-düşük kalitede ürünler elde edilebiliyordu. İlk yarı sentetik malzeme olan nitroselülozun (guncotton) 1848 yılında İsveç'li kimyacı Christian Friedrich Schoenbein (1799-1868) tarafından keşfinden sonra plastiğin gelişim süreci hızlanmıştır. İlerleyen yıllarda, kimyacılar reçine ve zamkların molekül ağırlıklarının daha fazla olduğunu anladıklarında benzer molekülleri yapay olarak meydana getirmeye çalışmışlardır. Tümüyle yapay olarak üretilmiş ilk plastik 1909'da ABD'li kimyacı Leo Hendrik Baekeland'ın fenol ve formaldehitten hazırladığı "bakalit"tir. Daha sonra molekül fiziği ve makro moleküller konusundaki gelişmeler sonucunda doğal malzemelerden çok daha üstün nitelikli polivinil klorid (PVC), polietilen, poliüretan, teflon, naylon, silikonlar, polipropilen ve polikarbonatlar gibi pek çok başka plastik türü geliştirilmiştir (Purde, 2007, s. 35).

Günlük hayatta plastikleri en fazla ambalajlarda görmekteyiz. Ambalaj sektöründe yaygın şekilde kullanılan petrol-bazlı plastiklerin çoğunu PET-polietilen tereftalat, PE-doğal gazdan üretilen polietilen reçine, PP-ham petrolden üretilen polipropilen gibi plastikler oluşturmaktadır (http-7 Yelken, 2020) .

"Taş devri", "bronz çağı" gibi tarih öncesinde insanların araç gereç ve eşya yapımında kullandıkları malzemeler o döneme isimlerini

vermiştir, benzer biçimde özellikle yapay polimerlerin keşfinden sonraki dönem de "Plastik Çağı" olarak tarihe geçeceği kuşkusuzdur (http-9 Sarıgül, 2018). Plastikler ısı ile etkileşimlerine bağlı olarak iki ana grupta toplanabilirler: Termoset plastikler (ısıl işlemle sertleşenler) ve termoplastikler (ısıl işlemle yumuşayanlar). Isı ile etkileşim özellikleri, geridönüşüm niteliklerini de etkilemektedir. Termoplastiklerin geri dönüşüm potansiyelleri termoset plastiklere göre daha yüksektir.

Termoset plastikler şekil verildikten sonra tekrar ısıya tabi tutulduklarında şekil değiştirmezler, ancak yüksek ısı karşısında yanarak kömür haline gelirler. Termoset plastiklere örnek olarak fenolik reçineler, furan reçineleri, aminoplastlar, alkitler ve doymamış asit polyesterleri, epoksi reçineler, poliüretanlar ve silikonlar verilebilir. Çeşitli borular, depo, tank, mobilya gibi ürünlerden oyuncaklara, çeşitli elektrik aksamına kadar değişik ürünler üretilebilir. Termoplastikler ise ısıya tabi tutulduklarında eriyip ve şekil değiştirebilirler. Selüloz türevleri, polyetilen, polipropilen, vinil akrilikler, flüorokarbon reçineleri ve polistirenler gibi katkı polimerleri ve naylonlar, polyetilen tereftalat, polikarbonatlar ve poliamitler gibi yoğunlaşma polimerleri termoplastik polimerlere örnektir. Termoplastik malzemelerden market poşetleri, piyano tuşları ve araba parçaları gibi birçok farklı kategoride ürün üretilebilir (Purde, 2007, s. 45).

Kullanım alanlarına göre sınıflandırıldıklarında plastikleri gündelik plastikler ve mühendislik plastikleri olmak üzere iki sınıfa ayırabiliriz. Gündelik plastikler paketleme filmleri, fotoğraf filmleri, manyetik şeritler, içecek şişeleri ve çöp kutuları gibi büyük miktarlarda üretilen ve mekanik özelliklerin çok ön planda olmadığı alanlarda kullanılan malzemelerdir. Daha dayanıksız fakat daha düşük maliyetlidirler. Polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorid (PVC), polimetil metakrilat

(PMMA) ve polietilen tereftalat (PET) bu sınıfa girerler. Mühendislik plastikleri ise daha üstün mekanik ve termal özellikleri olan ve daha farklı çalışma ortamlarında kullanılacak ürünlerde sıklıkla tercih edilirler. Bu çeşit malzemeler genelde termoplastik sınıfındadırlar. Mühendislik plastiklerine örnek olarak akrilonitril butadien stiren (ABS), polikarbonatlar (PC), poliamitler (PA), polibutilen tereftalat (PBT), polifenilen oksit (PPO), polisülfon (PSU), polieterketon (PEK), polietereterketon (PEEK), poliimit (PI) verilebilir (Purde, 2007, s. 46).

### 3. PLASTİĞİN ÇEVREYE ETKİSİ

Gerek üretimde gerekse günlük kullanımda getirdiği rahatlık sayesinde günümüzde plastiğin kullanımı oldukça artmıştır. Özellikle tek kullanımlık ürünlere kullanımı, atıklardaki plastiğin oranını gün geçtikçe artırmaktadır. Plastik atıklar görünür kirliliğin yanı sıra, uzun yıllar bulunduğu toprakta suda çözülmeden kalabilmekte, en iyi ihtimalle parçalara ayrışıp çözülmeye başladığında da partiküller halinde var olmaya devam etmektedir.

Plastiklerin kullanımını ve tercih edilirliliğini artıran kimi özellikleri atık halinde kontrolsüzce çevreye bırakıldığında nasıl tehdit unsuru haline geleceği anlaşılabilir; bu özellikleri ise şunlardır: Hafiftir, suda yüzerler, Lipofiliktir (yağı sever), birçok kimyasala karşı dayanıklıdır, kimi katkı maddeleriyle oldukça dayanıklı hale gelebilirler, toksik kimyasalları üzerinde absorblayarak taşıyabilirler (Yurtsever, 2018, s. 173).

Plastik atıkların bertarafı için kullanılan yöntemlerden biri de yakılmasıdır, fakat bu işlem standart kriterlere göre yapılırsa bile elde edilen enerjiye karşılık CO2 emisyonunu artırmakta ve ortaya çıkan tehlikeli ve toksik içerikli kül ve cüruf depolama sahalarına gitmektedir (Köksal, Aydın Er, Ardalı, & Sağlam, 2019, s. 153). Almanya, Avusturya, İsveç, Hollanda ve Danimarka gibi ülkelerin plastik atıklarını %

85-100 oranında geri kazanmasına karşın Avrupa ortalaması % 28 de kalmaktadır (Köksal, Aydın Er, Ardalı, & Sağlam, 2019, s. 152).

Plastiklerin niteliklerini değiştirip istenilen özellikler kazandırılırken bunların çevre açısından ne gibi dezavantajlar yaratabileceğini çevresel etki değerlendirmesinde hesaba katılması gerekiyor. Örneğin, dayanıklılık ve uzun ömürlülük için özellikle geliştirilen plastik türlerinin UV ışınlarına karşı son derece dirençli hale gelmesi, doğada çözünmesinin yüzyıllarca uzaması anlamına gelmektedir. Bununla birlikte kullan-at kültürü, plastikte neredeyse özdeş hale gelmiştir. Hem kolay üretilir oluşları, hem maliyeti düşürmeleri nedeniyle çok büyük miktarlarda üretilip tüketilen ve kısa sürede atık haline gelen bu kullan-at ürünler plastik atık yığınlarındaki payı gün geçtikçe artmaktadır.

Birden fazla malzemenin birleştirilmesiyle oluşturulan “kompozit” malzemeler arasında en yaygın olanları, çeşitli elyaflarla takviyeli polimerlerdir. Örneğin CTP-cam elyaf takviyeli plastik, yapı sektöründen denizcilik sektörüne ve otomotiv sektörüne kadar yaygın olarak kullanılmaktadır (Hamamcı, Çiftçi, & Aktaş, 2018, s. 14). Yeni geliştirilen kompozit ambalaj malzemelerinin içeriğinde de plastiklerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Ancak kompozit malzeme geridönüşüm açısından oldukça sorunludur. Plastiklerin kâğıt, karton gibi malzemelerin yanı sıra; alüminyum, kalay gibi metallerle birlikte kompozit malzeme üretiminde kullanılması, daha dayanıklı malzeme elde edilmesini sağlasa da, atık tesislerinde ayrıştırılmasını, geri dönüşümünü veya çözünmesini zorlaştırabilmektedir (Yurtsever, 2018, s. 175).

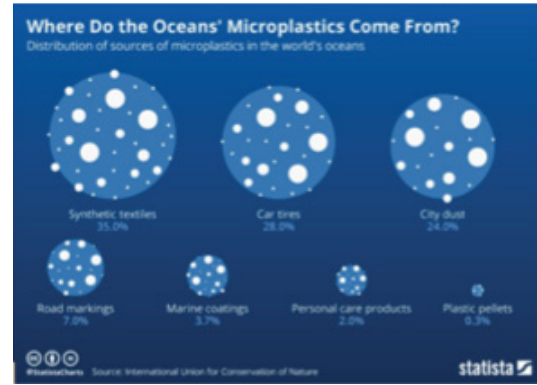
Bunların yanı sıra nanoteknolojiler sayesinde geliştirilen nanokompozit ambalaj malzemeleri bulunmaktadır. Nanoteknoloji; “boyutları 100nm (1nanometre: metrenin milyarda biri) ve daha küçük maddelerden yeni yapılar veya sistemler

oluşturma, bu sistemlerin karakterizasyonu, manipulasyonu ve analiz etme konularını esas alır.” Özellikle gıda ambalajlarında gerek gıda ile teması istenmeyen etkenlerden korumak, gerekse gıdaların takibi ile ilgili özellikleri sağlamak amacıyla nano parçacıklar eklenerek oluşturulan “Nanokompozit ambalaj malzemeleri” gıdanın sağlıklı şekilde tüketiciye ulaşması açısından önemli avantajlar sunar. Fakat tüm bunları sağlarken bu nanopartiküller, toksik kimyasal kirletici moleküllerin bağlanacağı düzeyde alanlar da sağlamış olur. Sağladığı avantajların yanı sıra nanopartikül içeren ambalaj malzemelerinin insan sağlığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin bilimsel olarak araştırılması, bunun için yasal düzenlemelerin yapılması gerekmektedir (http-8 Saklar Ayyıldız, 2007).

Plastiklerin doğada çözünürken küçük parçalara bölünmesi başta insan olmak üzere doğadaki tüm canlılar için büyük bir tehdit oluşturan “mikroplastikler” sorununa da neden olmaktadır. Buzullar içerisinde plastik parçacıklara rastlanması, hatta dünyanın bilinen en derin noktası olan Mariana çukurundaki bile mikroplastiklerin bulunması bu plastik atıkların yıllardır kontrolsüzce çevreyi ve ekosistemi kirlettiğinin ispatıdır (Yurtsever, 2018, s. 171).

Mikroplastikler için şu tanım yaygın olarak kabul görür: 1 mikrometre ile 5 milimetre arasında boyutlara sahip olan plastik parçalarıdır (Denizli & Yavuz, 2017, s. 64). Mikroplastikler birincil ve ikincil mikroplastikler olarak gruplanmaktadır. “5 mm’den küçük, plastik üretim döküntüleri ve kozmetiklerde kullanılan mikro boncuklar birincil mikroplastikler olarak tanımlanırken, giysi ve halı, battaniye gibi tekstil ürünleri kaynaklı sentetik tekstil lifleri ile araç lastiği döküntüleri ve diğer plastik atıklar, plastik döküntüleri ise ikincil mikroplastikler olarak tanımlanır. İkincil mikroplastikler belli bir parçalanma, yıkılma, ufalanma süreci sonucu dolaylı oluşan mikro-nano kirleticilerdir.”

Evsel çamaşır makinelerinin atık su örneklerini inceleyen çalışmalar, tek bir giysinin her bir yıkamada yaklaşık 1900 mikroplastik lif üretebildiğini göstermiştir (Aslan, 2018). Kozmetik sektöründeki üretilen yüz temizleme ve peeling jelleri, duş jelleri, şampuan, sabun, diş macunları, eyeliner, rimel, dudak parlaticısı, deodorant ve güneş kremleri gibi yaygın olarak tüketilen kişisel bakım ürünlerinde kullanılan mikroboncuklar da birincil mikroplastiklerden sayılmaktadır.



Görsel 1. Okyanuslardaki mikroplastik kaynakları (https://bioplasticsnews.com/2019/12/16/microplastics-sources/)

Bu mikrobüyük kirleticilerin kaynağında engellenebilmesi için 2017 yılında Amerika Birleşik Devletleri mikroboncukların üretimini yasaklamış, ardından İngiltere, Kanada, Avustralya gibi ülkeler de harekete geçmiş, 2018 yılından sonra pek çok ülke, kozmetiklerde kullanılan mikroboncukları yasaklamıştır (Yurtsever, 2018, s. 178). Besin zincirinin başında bulunan mikroalglerin, mikroplastiklerle etkileşime girdiklerinde büyümelerinin engellenmesi, klorofil konsantrasyonlarının azalması, fotosentezin yavaşlaması gibi olumsuz etkileri, bilimsel çalışmalarla ortaya konmuştur. Dünyadaki oksijen kaynağının büyük bir kısmının, alglerin fotosentezleri yolu ile üretildiği göz önüne alındığında mikroplastiklerin ekosistemi ne kadar tehdit

ettiği daha kolay anlaşılabilir (Denizli & Yavuz, 2017). Kullandığımız plastik gıda ambalajları, plastik içme suyu şişeleri ya da gıda zincirine giren mikroplastikler nedeniyle insan vücudunda da mikroplastığın varlığı tespit edilmiştir, ancak insan sağlığını hangi düzeyde tehdit ettiği konusu henüz tartışmalı bir konu olup, bilimsel araştırmalar sürmektedir.

#### 4. BİYOPLASTİKLER

Petrol kaynaklı sentetik polimerlerle üretilen plastiklerin, doğayı ve canlı yaşamını tehdit edecek boyutlara ulaşması, biyoplastik ya da biyo-çözünür plastikler olarak bildiğimiz çevre dostu plastiklerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur.

Biyoplastik üretiminde fosil kaynaklar yerine nişasta, selüloz, odun ve şeker gibi biyokütlelerin kullanılması, karbon emisyonlarının azalmasına katkısı nedeniyle, sürdürülebilir ekonomi bağlamında da kabul görmektedir (Gironi & Piemonte, 2011, s. 1949). Biyoplastiklere olan ihtiyaç ve talebin gün geçtikçe artmaya başlamasıyla Amerika ve Avrupa Birliği ülkelerinde ambalaj üretiminde biyobozunur malzeme kullanımı zorunlu tutulmaya başlamıştır (Hazer, 2012 , s. 3).

Biyo-çözünür polimerler grubunda temelde iki tip materyal sayılabilir; yenilenebilir kaynaklardan elde edilen kolay çözünmeyen polimerler ile mikro-organizmalar tarafından, kimyasal sentez sonucu elde edilen kolayca çözünen ve mineralleştirilen polimerler (http-7 Yelken, 2020). Hammadde kaynağına göre ise; bitkisel esaslı biyoplastikler (Polisakkaritlerden selüloz, nişasta, aljinat, agar, karraginan, çeşitli zamklar (guar), pektin vs.), hayvansal esaslı biyoplastikler (polisakkarit orijinli olan kitin, kitosan, hyluronatlar ve protein orijinli olanlardan kollajen, albümin, fibronejen, kasein, resilin, ipek, elastin vs.) ve mikrobik esaslı biyoplastikler (bakteriyel polyesterler

ve polisakkarit orijinli hyluronatlar) olarak da gruplanabilirler. (Hazer, 2012 , s. 5)

**ASTM International** olarak bilinen, çeşitli malzeme, ürün ve sistemler için teknik standartları geliştiren ve yayınlayan bir standart organizasyonu olan, ‘Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu’ biyobozunur polimerler için geçerli olacak teknik standartlar oluşturmuştur. Buna göre; biyobozunur polimerler, bakteri, mantar, alg, maya gibi doğada bulunan ve diğer mikroorganizmaların etkisi ile ekotoksik etki olmaksızın çözünebilen polimerler olarak tanımlanmıştır (Hazer, 2012 , s. 3). Malzeme tanımından başka “biyobozunurluk” için de ASTM D6400 ve EN 13432 gibi bazı standartlar oluşturulmuştur.

Biyoplastiklerin gün geçtikçe daha fazla kullanılmasına rağmen, 2014 yılı rakamlarına göre 325 milyon ton petrol kaynaklı plastiğe karşın 5 milyon ton biyoplastik üretilmektedir (Köksal, Aydın Er, Ardalı, & Sağlam, 2019, s. 154). Biyoplastiklerin üretim maliyetlerinin yüksek oluşu, yaygınlaşmasının önündeki engellerden biridir (Gironi & Piemonte, 2011, s. 1950). Oransal olarak petrol kaynaklı plastiklere göre düşük miktarlarda gerçekleşen üretim, maliyeti yükselten bir faktör olup, üretim miktarı arttığında maliyetlerin düşebileceği söylenebilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, biyoplastığın mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi kadar üretim maliyetinin azaltılmasına da odaklanmıştır. Biyoplastığın doğada tamamen parçalanabilmesi beklenmektedir ve bunu sağlayacak bakteriler ve bakterilerden daha dayanıklı olduğu bilinen fungusların, çözünürlüğü hızlandırması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Bezirhan Arıkan & Bilgen, 2019, s. 294).

Biyoplastiklerin yaygınlaşması konusunda diğer bir etken de tüketici algısıdır. Biyoplastikler çevreci özellikleriyle üretilseler de sonuçta yaygınlaşması ve ticari başarısı kullanıcı

Katılımcılarda biyo-esaslı kavramıyla ilgili oluşan sorular	
Bilinmeyen olarak bahsedilen konular	oluşan sorular
Biyo	Biyo denince organik, doğal ve biyolojik de oluyor mu?
Bileşim/içerik	Biyo-esaslı bir ürün (ya da organik, doğal ürün) gerçekte ne ölçüde biyolojik esaslı? Diğer bileşenleri/bileşikleri nelerdir?
Çevre dostu	Biyo-esaslı olan, doğal veya organikten daha mı çevre dostu?
Ürün/üretim yaşam döngüsü	Biyo-esaslılık Ürünle mi ilgili yoksa üretim süreci / üretim tekniği ile mi?
Biyoçözünürlük	Biyo-esaslı aynı zamanda biyoçözünür mü?
Enerji	Biyo-esaslı malzeme ile enerji/yakıt elde edilir mi?
Atık	Biyo-esaslı ürün atık miktarını azaltır mı?

Tablo 1. Biyo-esaslılık kavramıyla ilgili kullanıcı algısı araştırması (Sijtsemaa, Onwezena, Reindersa, & Dagevosa 2016)

tercihlerine bağlıdır. Bir ürünün sadece doğal olması kullanıcı tercihi için yeterli olmayıp kalite algısının da oluşması gerekmektedir (Karana, 2012, s. 316). Son yıllarda yükselen çevre bilincine karşın, sonuçta tüketim tercihlerini belirleyen şey, kullanıcıların biyo-esaslı malzemeler ve ürünlerle ilgili sahip oldukları bilgi düzeyidir. Biyo-esaslılık kavramı ve biyo-esaslı ürünlere ilişkin tüketici algısını araştırmak üzere beş Avrupa ülkesinden onbeş odak grubu ile toplamda 89 katılımcı ile yapılan araştırma, kullanıcıların biyo-esaslılık kavramına çok da aşina olmadıklarını ortaya koymuştur (Sijtsemaa, Onwezena, Reindersa, & Dagevosa, 2016, s. 1). Biyo-esaslılık kavramıyla ilintili sorulan sorularda ne kadar çevre dostu olduğu, tamamen çözünebilir olup olmadıkları, biyo yakıtla ilişkisi gibi konularda bilgi eksikliği olduğu, bu tür bir bilgi eksikliğinin de güvensizlik ya da olumsuz duygular yaratabileceği görülmüştür (Sijtsemaa, Onwezena, Reindersa, & Dagevosa, 2016, s. 66)

Her ne kadar son yıllarda gelişen çevre duyarlılığı tüketim tercihlerini etkilese de, tüketiciler son ürünün hem içeriği hem de ambalaj ve aksesuarları gibi unsurlarıyla birlikte bütüncül olarak çevre dostu olmasını talep ediyorlar. Hatta daha da ileri gidip biyo-esaslı malzeme kullanılmış olsa bile üretim yönteminin çevreci olup olmadığı ve üretimde emek sömürsünün

olup olmadığı da sorgulanmaktadır. Ayrıca biyo-esaslı malzemenin hangi oranda kullanıldığı yani % 100 mü, yoksa kısmen mi kullanılmış olmasının da tüketici tercihini etkilediği ortaya konmuştur. 2016'da yapılan bu araştırmaya göre, kısmen kullanıldığı durumlar inandırıcı bulunmayıp, tüketicinin çevre duyarlılığının ticari olarak sömürülmesi olarak algılanmaktaymış (Sijtsemaa, Onwezena, Reindersa, & Dagevosa, 2016, s. 67). Her geçen gün yenilerinin eklendiği biyoplastik malzeme piyasasında, biyoplastikler kullanım alanlarını ve tüketim potansiyellerini arttırmak için, kendi öznel niteliklerini doğru tanıtmak zorundadırlar. Bunu sağlamak için ise sadece teknik özelliklerin tanıtılması değil, malzemenin somut olmayan fakat tüketicinin birtakım duyuşal ihtiyaçlarına da karşılık bulmasıyla sağlanabileceği gerçeğini unutmamak gerekiyor. Bu ise biyoplastiklerden mamül ürünlerin tasarım özelliklerinin malzemenin doğası ile ilişkisini yansıtmaları ile ortaya konabilecek bir konu olup üzerinde ileri çalışmaların yapılması gerekmektedir (Rognoli, 2011, s. 6).

#### 4.1. Kullanılan Biyoplastiklerden başlıcaları

**Poliaktik Asit(PLA):** Doğada çözünebilir, mısır nişastası ya da şeker kamışı gibi yenilenebilir alifatik polyesterlerden üretilen bir termoplastiktir. Neredeyse bir asırdır bilinmesine



karşın, doğada çözünür olması sayesinde son yıllarda ilgi görmeye başlamıştır. Biyoçözünür olduğu için kadın hijyen ürünleri, ıslak mendiller ve çocuk bezleri gibi çok miktarlarda kullanılan kullan-at ürünlerde kullanılma potansiyeli mevcuttur (Purde, 2007, s. 94).

**Plastarch malzemesi(PSM):** Doğada çözünebilir bir termoplastik reçinesidir. Hammaddesinde kullanılan nişasta ısıl dayanımı arttırmak üzere modifiye edilmektedir, bu sayede çok az biyoplastikte rastlanan oldukça yüksek sıcaklıklarda kullanılabilme özelliğine sahiptir. Kullanıldığı alanlar ise; gıda paketleme malzemeleri, kişisel bakım ürünleri, plastik poşetler, geçici inşaat tesisatı boruları, endüstriyel köpük paket malzemeleri, endüstriyel ve tarımsal filmler, pencere yalıtım malzemeleri ve yapısal kazıklardan tek kullanımlık diş fırçaları, dikiş setleri, taraklar ve tıraş bıçaklarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır (Purde, 2007, s. 96).

**Polikaprolakton(PCL)/Polimorf Plastikler:** Ham petrolden kimyasal sentezleme yöntemiyle çıkarılan PCL; su, yağ, solventler ve kloro karşı iyi direnç gösterir. Bu polimer, reçinelerin özelliklerini (örneğin darbe dayanımı) geliştirmek amacıyla reçinelerde katkı maddesi olarak kullanılır. Başka malzeme türleriyle uyumlu olan PCL, maliyetini düşürmek ve doğada çözünürlüğünü arttırmak için nişastayla karıştırılabilir. Ortodontoloji’de, kök kanal dolgusunda kullanılır.” (Purde, 2007, s. 99)

**Mater-Bi:** Çevre dostu malzeme ihtiyacına cevap vermek üzere, İtalyan Novamont firması tarafından geliştirilmiş mısır nişastası esaslı özel bir malzemedir. Bu malzemenin en önemli özellikleri, hızla yenilenebilir bir malzemedir üretilmesi, doğada kendi halinde biyo-çözünmeye bırakılabilmesi, istenirse de işlenerek kompostlaştırılabilmesidir. Ayrıca konvansiyonel plastikler gibi yine doğal materyallerle renklendirilebilir, gerektiğinde ısıyla lamine edilirse kâğıt, karton, yün ve benzeri

diğer doğal liflerle güçlendirilerek biyo-kompozit malzeme de oluşturulabilir. Gıda sektöründe kullanılabilirdiği gibi, yumuşak ve doğal olması sebebiyle evcil köpekler için çiğneme çubuğu olarak kullanılabilir (Purde, 2007, s. 103).

#### **Suda Çözünebilir Plastik-Alkol Polivinil:**

Bir süredir bilinmesine karşın biyo-çözünür plastiklere olan taleple kullanımı artmıştır. En çok karşılaştığımız uygulama alanı, yeni nesil bulaşık makinesi tabletleridir. İçinde bulaşık tozu ve sıvısı barındıran bu tabletler su ile temas edince kısa sürede çözünmekte ve geriye içinde su ve karbondioksitten başka bir şey barındırmayan bir jele dönüşmektedir. Buna karşın, gerilmeye karşı mukavim olup, ekstrüzyonla ya da enjeksiyonla ürün imalatına da uygundur. (Purde, 2007, s. 105).

**Plantics:** “Plastics made from plants” yani bitkilerden yapılmış plastik anlamına gelen Plantics’in, % 100 biyoçözünür olduğu, yakıldığında veya “yutulduğunda” bile toksik etkisi olmadığı, yüksek kimyasal direnci olduğu, alev geciktirici özelliğe sahip olduğu, üretiminin gıda sektörüyle rekabet etmediği için de düşük maliyeti garanti ettiği söylenmektedir. Plantics ayrıca Avrupa (EN 13432) ve Amerika (ASTM 6400) biyo-çözünürlük sertifikasyonlarına sahip biyoplastik olarak tanımlanmaktadır (<http-5 Plantics.nl>, 2020) (Purde, 2007, s. 106). Suda kolayca çözünme özelliği ile çeşitli gıda ambalajlarında ve kozmetik ambalajlarında kullanılmaktadır. Diğer biyoplastiklerden farkının, organize edilmiş kompostlama/ gübreleme tesisinde işleme tabi tutulmadan da doğada tam anlamıyla çözünebilmesi olarak ortaya konmaktadır (<http-5 Plantics.nl>, 2020). Plantics’in üretiminde kullanılan mısır unu, çözünme için ideal bir bitkisel malzemedir ve su ile temas etmese de altı ay sonunda çözünmeye başlar (<http-7 Yelken>, 2020).

Ayrıca selüloz bazlı biyoplastiklere örnek olarak; Termoplastik selüloz asetat Bioceta:



Görsel 2. Biyoplastiklerin kullanıldığı ambalaj ve kullan-at ürünler.

(<http://www.whatech.com/markets-research/industrial/615258-bioplastic-packaging-material-market-scrutinized-in-new-research>)

Şeffaf granül şeklinde olan ve 170°Cde işlenerek asetilselülozun tümüyle biyo-çözünürlüğünü sağlamak üzere yüksek miktarda bitkisel plastiklerle birleştirilebilir. Bioceta yavaş olmasına rağmen biyolojik olarak tamamen çözünür. Üretim yöntemi olarak enjeksiyon, presleme, kalenderleme veya “film üfleme” yöntemine de uygundur (http-7 Yelken, 2020).

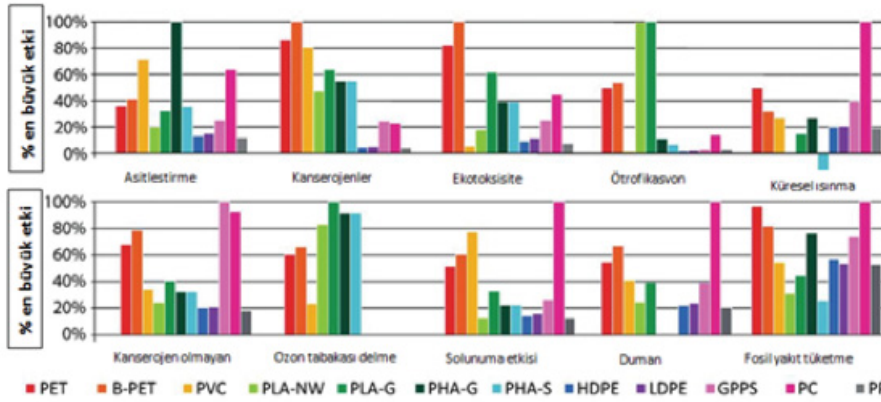
Biyolojik temelli plastiklerin yanı sıra, petrol kaynaklı plastiklere de birtakım katkı maddeleri eklenerek karbondioksit ve suya dönüşmesine imkân tanındığında bunlar da biyoçözünür plastikler olarak adlandırılmaktadır. Örneğin Genpak ABD’den Harvest CollectionTM, nişasta içeriği güçlü pirinç, buğday, mısır, gibi bitkisel hammadde kullanarak çözünebilir tabak, gıda kabı ve bardak gibi ürünler üretmektedir. Ancak ürettiği ürünlerde petrol kaynaklı plastik olan Polietilen kullanmış olsa da, birlikte kullandığı nişasta dolayısıyla biyobazlı malzeme olarak tanımlanmaktadır. 180 günden az sürede % 60 oranda çözünebilme özelliği ile Amerikan Malzeme Test Standartları Avrupa bozunabilirlik normlarını da karşılamaktadır (http-7 Yelken, 2020). Plastiklerin çoğu karbon temelli monomerlerden oluştuğu için kuramsal olarak mikroorganizmalar için besin kaynağı olabileceği düşünülebilir. Ancak birçoğu için bu mümkün olamamaktadır. Fakat araştırmacılar “Ideonella

Sakaiensis” adlı bakterinin PET gibi biyolojik parçalanmaya dirençli polimeri bile iki farklı enzim kullanarak parçaladığını ortaya koymuştur. MHETaz olarak adlandırdıkları bir diğer enzimse MHET’i parçalayıp PET’in monomerleri olan tereftalik asite ve etilen glikole dönüştürüyor.” (http-10 Yoshida, 2016)

Plastik kullanımının en fazla olduğu sektör Ambalaj sektörüdür ve “son kullanıcı plastik atıkların” yaklaşık % 60’ını tek kullanımlık plastik ambalajlar oluşturmaktadır. Bu nedenle ambalaj sektörü biyoçözünür plastiklere daha fazla ilgi göstermektedir. Çevre bilinci sayesinde giderek yükselen tüketici talebi, atık yönetimiyle ilgili yasal düzenlemeleri getirmiş bu da sektörün biyoplastiklere yönelmesine yolaçmıştır (http-7 Yelken, 2020). Bu nedenle ambalaj sektöründe pek çok şirket ticari isim haklarını alarak çeşitli niteliklerde kendi biyoçözünür plastiklerini geliştirmişlerdir. Örneğin Biophan, Ecoflex, Starpol 2000, Ecovio, Cereplast Compostables bunlardan bazılarıdır.

## 5. BİYOPLASTİKLERİN ÇEVREYE ETKİSİ

Biyoplastiklerin çevre üzerindeki etkisini petrol kaynaklı plastiklerle karşılaştırabilmek ve değerlendirmek için en etkili araç (LCA) (Life Cycle Assesment) Yaşam Döngüsü Değerlendirmedir. Biyoçözünme işlemi için



Tablo 2. PLA-NW, PLA-G, PHA-G ve PHA-S olarak listelenen biyopolimerlerle, Hibrit B-PET'in yaşam döngüsü değerlendirmesinin sonuçları (Environmental Science & Technology - Tabone ve diğer1.) (http-12:Pittsburgh, 2010)

LCA değerlendirmelerinde kullanılan başlıca faktörler şunlardır:

**Abiyotik tükenmesi:** Ekstre edilen mineral ve fosil yakıtların abiyotik tükenme potansiyeli.

**Küresel ısınma:** Havaya yayılan her bir sera gazı emisyonunun küresel ısınma potansiyeli.

**İnsan toksisitesi:** Havaya, suya ve/veya toprağa yayılan toksik maddelerin insan sağlığı üzerindeki toksik etki potansiyeli.

**Tatlı su sucul ekotoksisitesi:** Havaya, suya ve/veya toprağa yayılan her maddenin tatlı su sucul toksisitesinin potansiyeli.

**Deniz sucul ekotoksikolojisi:** Havaya, suya ve/veya toprağa yayılan her bir maddenin deniz sucul toksisitesinin potansiyeli.

**Karasal ekotoksisite:** Havaya, suya ve/veya toprağa yayılan her maddenin karasal toksisite potansiyeli.

**Fotokimyasal oksidasyon:** Havaya yayılan her maddenin fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli.

**Asidifikasyon:** Havaya salınan emisyonun asitleştirme potansiyeli.

**Ötrofikasyon:** Havaya, suya ve toprağa salınan

maddelerin ötrofikasyon potansiyeli (Gironi & Piemonte, 2011, s. 1952). (ötrofikasyon: herhangi bir su ekosisteminde çeşitli nedenlerle besin maddelerinin büyük oranda artmasıyla plankton ve alg varlığının aşırı derecede artması)

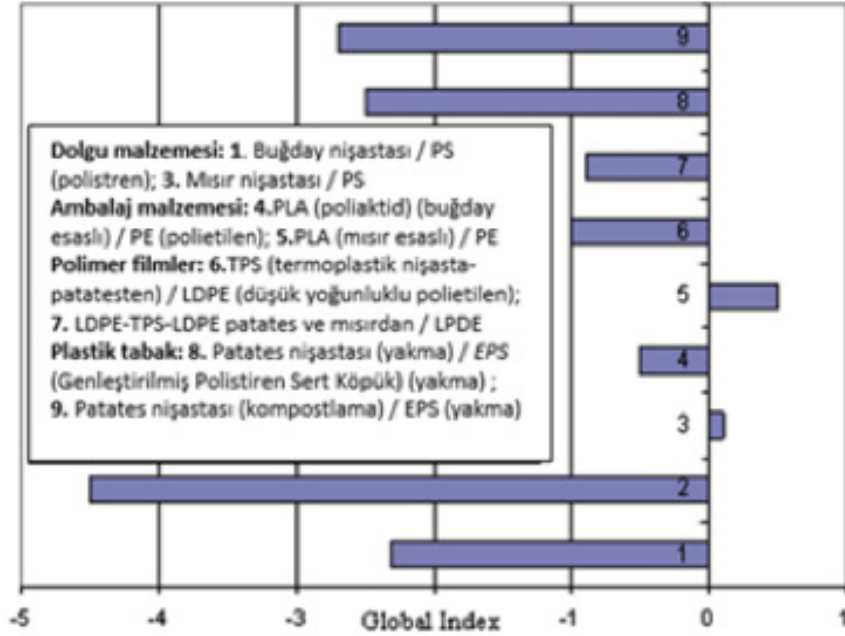
Pittsburgh Üniversitesinden bir grup araştırmacı, yedisi petrol bazlı polimer, dördü biyopolimer ve biri hibrit olmak üzere 12 çeşit plastiği incelemişler. İlk olarak, "bir onsluk plastik granülü" oluşturmak için kullanılan enerji, hammadde ve kimyasalların çevre ve sağlık üzerindeki etkisini ölçmek üzere her bir polimerin üretim öncesi aşamasını kapsayan "Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi"ni (LCA) yapmışlar. Daha sonra bitmiş haliyle her bir plastiği biyolojik olarak parçalanabilirlik, enerji verimliliği, israf ve toksisite olmak üzere çevreci tasarım ilkelerine göre derecelendirmişler. Çevreci tasarım ilkelerine göre yapılan derecelendirmenin LCA kriterlerine göre kontrol edildiğinde sıralamanın biyopolimerler açısından değiştiğini görmüşlerdir. (http- 10:Pittsburgh, 2010)

Polimer	Malzemesi	Çevreci Tasarım Açısından Derecelendirilmesi	LCA Derecelendirilmesi
Polylactic acid-NatureWorks (PLA-NW)	Şeker,mısır nişastası	1	6
Polyhydroxyalkanoate-Stover (PHA-S)	Mısır Sapı	2	4
Polyhydroxyalkanoate-General (PHA-G)	Mısır Tanesi	3	8
Polylactic acid-General (PLA-G)	Şeker,mısır nişastası	4	9
High-density polyethylene (HDPE)	Petrol	5	2
Polyethylene Terephthalate (PET)	Petrol	6	10
Low-density polyethylene (LDPE)	Petrol	7	3
Biopolyethylene terephthalate (B-PET)	Petrol, bitkisel	8	12
Polypropylene (PP)	Fosil yakıt	9	1
General purpose polystyrene (GPPS)	Petrol	10	5
Polyvinyl chloride (PVC)	Klor, Petrol	11	7
Polycarbonate (PC)	Petrol	12	11

Tablo 3. 12 farklı biyopolimer ve petrol bazlı polimerin çevreci tasarım ve LCA kriterlerine göre değerlendirilmesi (Pittsburgh, 2010)

LCA veri analizleri, bazı durumlarda biyoplastikler, bazı durumlarda ise petrol kaynaklı plastikler lehine çıkabiliyor.

Değerlendirmede hangi çevresel etkiyi araştırdığınıza bağlı olarak sonuç değişmektedir. Üstünlükler şartlara ve taleplere göre değişiklik göstermektedir. Bu durumda “hedefe-uzaklık” yöntemi kullanılmaktadır, yani belirlenen hedef



Tablo 4. “Hedef olan uzaklık metodolojisi” ne göre birkaç biyoplastik-plastik çifti için genel çevresel etki değerlendirilmesi (Gironi & Piemonte, 2011)

üzerinden iki farklı malzemeyi değerlendirmek (Gironi & Piemonte, 2011, s. 1953)

Biyoplastiklerin tercih nedeni olmasında ilk sırada, petrol kaynaklı plastiklerin çevreye olan birincil etkisi olan karbondioksit salınımını azaltmak için tarımdan elde edilen ürünlerin hammadde olarak kullanılmasıdır. Bu sayede, konvansiyonel plastiklerin üretimi, kullanımı ve imhası esnasında salınan CO<sub>2</sub>, bitkilerin büyüme döngüsü sırasında tüketilen CO<sub>2</sub> ile dengelenmiş olur. Ayrıca fosil yakıtlar gibi yenilenemez kaynakların tüketilmesinin de önüne geçilmiş olur (Gironi & Piemonte, 2011, s. 1950). Ancak bu ilk bakışta olumlu görünmekle birlikte bazı olumsuzlukları da barındırmaktadır. Biyopolimerlerin bir kısmı soya, patates, şeker, pirinç, buğday, mısır gibi gıda açısından değerli hammaddelerin fermentasyonu süreçlerinden elde edilir. Küresel ısınmayla birlikte gelişen gıda krizi nedeniyle biyoplastikler için yapılan tarımsal üretimin gıda üretimi ile rekabet halinde olması durumunu doğurmaktadır. Bu durumun önüne geçilebilmesi için, gıda değeri düşük tarımsal ürünleri kullanmak veya gıda endüstrisinin atıklarından faydalanmak ya da tarımsal üretim için kullanılamayacak bölgelerde

üretim yapmak çözüm olabilir. Biyoplastiklerin üretiminde bahsi geçen tarımsal ürünlerin kullanılmasının gıda güvenliğini tehdit etmesi de göz önüne alındığında, çevre dostu olmasına karşın, konvansiyonel plastiğe kıyasla daha pahalıya malolmaktadır.

Biyoçözünür olarak tanıtılan biyoplastiklerin, gerçekte hangi koşullarda tam anlamıyla biyolojik olarak çözülebildiklerinin de sorgulanması gerekmektedir. Biyoplastiklerin “biyobozunur”, “kompostlanabilir” (gübreleştirilebilir) olması mümkün ise de, atık yönetiminin uygun koşullarda yapılamaması nedeniyle, pratikte tüm biyoplastiklerin çözülebildiklerini söylemekten çok uzagız. Biyoplastikler de petrol kaynaklı plastikler gibi, atık olarak okyanuslara ulaştığında deniz yaşamı için tehdit oluşturmaktadır. Kompost için sertifikalı biyoplastiklerin suda çözümleri mümkün olamamaktadır. Georgia Üniversitesi’nden çevre mühendisi Prof. Dr. Jenna Jambeck’e göre biyoplastiklerin suda çözünemiyor oluşları, okyanuslardaki doğal yaşam için büyük bir tehlikedir. Profesör Jambeck, Ulusal Coğrafi Biyoplastik çalışmasında PLA’nın; atık işleyen bir tesiste kompost haline getirilebileceğini, ancak böyle bir tesisin bulunmadığı bölgelerde,

CUPS, STRAWS & UTENSILS		
PRODUCT	STANDARDS & CLAIMS	ENVIRONMENTAL PERFORMANCE
	Compostable PLA Food Rec., 100% Bio-based	
	Compostable, 100% Bio-based, 100% Recycled PLA	
	Recyclable, 100% Bio-based	
	100% Compostable, 100% Bio-based, 100% Recycled PLA	
	Compostable, natural materials	
	100% Bio-based, 100% Recycled PLA	

Görsel 3 . “Üzerinde çevre dostu/biyoesaslı/çözünebilir malzemelerden üretildiği yazılan, bardak, kaşık, bıçak ve pipetin ilk halinden başlayarak 6,12,24 ay süresince toprakta ve 24 ay süresince de denizdeki çözümlerini gösteren çalışma. (http-1: 5Gyres, 2017, s.21)

geleneksel petrol bazlı plastikten farklı olmadığını ifade ediyor ([http-3 BBC News](http://3 BBC News), 2019).

Öte yandan tüm plastik atıkların planlanan şekilde tasnif edilerek dönüşüm tesislerinde toplanabilmesi geri dönüşümün sağlıklı yapılabilmesi için ilk şarttır. Eco-labeling (ekolojik etiketleme sistemi) geridönüşümü kolaylaştırmak üzere geliştirilmiştir.

Kar amacı gütmeyen çevre koruma ve okyanuslardaki plastik kirliliğini araştıran “5Gyres” adlı kuruluşun yaptığı çalışmada incelenen, biyoplastikten mamul ürünlerin etiketlendirilmesinde geri dönüşümü ile ilgili net bir bilgi olmaması nedeniyle tüketiciler tarafından nereye atacaklarını bilemedikleri dolayısıyla geri dönüşümünün sağlıklı olmadığını ortaya konmuştur ([http-1:5Gyres](http://1:5Gyres), 2017).

Kompostlanabilen biyoplastik malzemeler için üç tür ASTM Standart şartnamesi oluşturulmuştur:

- ASTM D6400-04 Standart Şartnamesi (Kompostlanabilir plastikler için)
- ASTM D6868-03 Standart Şartnamesi (Kağıt ve diğer kompostlanabilir substratlar üzerine kaplama olarak kullanılan biyobozunur plastikler için )
- ASTM D7081-05 Standart Şartnamesi (Deniz Ortamında yüzmeyen biyobozunur plastikler için) (Köksal, Aydın Er, Ardalı, & Sağlam, 2019, s. 161)

Biyoplastikler için oluşturulmuş standartlardan biri olan ASTM D-5488-94d'ye göre ise biyobozunurluk; mikroorganizmaların enzimatik mekanizmayla polimerleri CO<sub>2</sub>, metan, su ve inorganik bileşenlere ayrıştırması şeklinde tanımlanmıştır (Köksal, Aydın Er, Ardalı, & Sağlam, 2019, s. 161). Biyobozunma aerobik (oksijenli ortamda) olduğunda orijinal polimer tamamen gaz ve minerale dönüşür yani geride CO<sub>2</sub>, yeni biyokütle ve su kalır. Biyobozunma anaerobik (oksijensiz ortamda) olduğunda ise,

metan açığa çıkmaktadır. (Gironi & Piemonte, 2011, s. 1951) (Köksal, Aydın Er, Ardalı, & Sağlam, 2019, s. 160). Biyobozunmanın gerçekleşmesi için üç ana unsurun bulunması gerekmektedir; organizma, substrat (enzimlerin tepkimelerinde işlenen maddeler) ve çevre etkisidir. Bunlardan herhangi biri eksik olduğunda biyobozunma gerçekleşmez (Kaplan, Mayer, Ball, McCassie, & Allen, 1993). Bir PLA şişenin doğada kendi halinde bozulmasının, sıcaklık, nem, oksijen gibi koşulların denetlendiği tesislerdeki bozunmanın ancak % 10-20'si kadar etkin olduğu görülmüştür (Gironi & Piemonte, 2011, s. 1951). Oysa endüstriyel bir kompostlama sürecinde altı ay içinde % 90 oranında parçalanabilmektedir (Rognoli, 2011, s. 2). Dolayısıyla uygun koşullarda kompostlanmadığı sürece biyoplastik atıkların tümüyle çevreye zararsız hale geldiklerini söylemek mümkün değildir. Kompostlanabilme, maddenin kompost kullanılarak biyolojik olarak yıkılabilmesidir. Bu işlemin sağlıklı ve geride herhangi bir toksik madde bırakmaksızın olabilmesi için uygun ısı ve nem değerleri olması beklenir. İşlem sonucunda geride toprak yapısındaki humus benzeri madde ve CO<sub>2</sub> kalması beklenir (Köksal, Aydın Er, Ardalı, & Sağlam, 2019, s. 162).

Ayrıca biyoplastiklere, mekanik özelliklerini artırmak için eklenen katkı maddeleri maalesef biyoçözünürlüklerini engelleyip, ekotoksik etkilerini artırmakla kalmaz, kompost edilebilirliğini de etkileyip avantajlarını boşa çıkarabilir (Gironi & Piemonte, 2011, s. 1951). Bazı lamine ambalajlarda biyoçözünür polimerlerin, sentetik polimerlerden elde edilmiş film ya da lamine filmlerle birlikte kullanılması biyoçözünme sürecini etkileyecek bir diğer faktördür.

En çok kullanılan biyoplastiklerden PLA, kompostlanabilmekle birlikte geridönüşümü de mümkün olan bir plastiktir. Polietilen, polipropilen, polivinil klorür gibi petrol kaynaklı

konvansiyonel plastiklerin geridönüşümü sırasında polimer zincirlerinin kırıldığı ve mekanik dayanımlarının düştüğü, bu nedenle de geridönüşümden sonra üretilen ürünlerin kalitesinin düştüğü bilinmektedir. Oysa PLA'nın geri dönüşümünden sonra kolay bir hidroliz prosesi ile laktik asit monomerine dönüştürülüp yeniden orijinal PLA üretimi gerçekleştirilebildiğinden geri dönüşümünün kalitesi bakımından da üstündür (Hazer, 2012, s. 5).

İdeal bir atık yönetiminde, plastiklerin geri dönüşüm tesislerinde efektif bir biçimde ayrıştırılmaları beklenir. Plastik türlerine göre, farklı işlem ve sıcaklığa tabi tutulmaları gerekmektedir. Plastiklerin doğru ayrıştırılmalarını sağlamak için, mamüllerin üzerine işlenecek ayırt edici plastik kodlar, 1988 yılında Plastik Endüstrisi Birliği tarafından belirlenmiştir. Ancak gün geçtikçe kullanımı artan biyoplastik ürünlerin, atık tesislerinde diğer plastiklerle karışık halde bulunması özellikle kızılötesi ışın ile çalışan çöp ayrıştırma sistemleri için mümkün olamamaktadır. Normal plastiklerle aynı sürece giren biyoplastikler, yapısal ve erime sıcaklıklarındaki farklılıklar nedeniyle sonuçta elde edilen malzemenin yapısını bozarak ileride geri dönüşmesini engellemekle kalmayıp, biyoplastiklerin kompostlanabilirliğini de engellemektedir (Purde, 2007, s. 110). Petrol kaynaklı plastiklerle biyoplastikler ne yazık ki kaçınılmaz olarak birbirine karışmış olarak toplanmaktadır. Bununla birlikte birbirine karışmış olan bu petrol ve biyolojik esaslı plastikleri aynı ortamda kompostlayabilecek mikroorganizma toplulukları için de çalışmalar sürmektedir (Köksal, Aydın Er, Ardalı, & Sağlam, 2019, s. 163).

## SONUÇ

Küresel iklim krizinin sonuçlarını yaşamaya başladığımız son yıllarda özellikle plastik atıkların insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki

tehlikeli varlığı en çok üzerinde durulan konu olmuştur. Giderek artan çevreci duyarlılığı, hem yasal düzenlemelerin oluşturulması hem de ticari faaliyetlerin çevreci dönüşümü konusunda kamuoyu baskısı oluşturmuştur. Sürdürülebilir tasarım yaklaşımı açısından da plastik en çok tartışılan malzemelerden biridir. Avrupa Komisyonu da 2018 Ocak ayında, yeni "Plastik Atıkla Mücadele Stratejisini" açıklamış, buna göre 2030'a kadar Avrupa Birliği ülkelerinde piyasadaki bütün plastik ambalajların geri dönüştürülebilir olması hedeflenmektedir. Tek kullanımlık plastik malzeme tüketimini azaltmak ve üretimde birincil mikroplastik kullanımını sınırlamak öncelikli önlemler arasındadır (http-6 Sade, 2019). Şirketler de "geridönüştürülebilir" "biyoçözünür plastik" olarak nitelenen malzeme ve ürünleri kullandıklarını ilan ederek ne kadar çevreci olduklarını ifade etmeye çalışmaktadırlar. Ancak biyoplastiklerin kullanımının artmasına karşın, gerçekte plastiğin neden olduğu çevre sorunlarına kesin bir çözüm olup olmadığı da tartışılmaktadır.

Bu konuyla ilgili tartışmaları üç ana konu çerçevesinde özetleyebiliriz; 1) Üretimi ile ilgili, 2) Atık yönetimiyle ilgili, 3) Kullanımı ve tüketici yaklaşımlarıyla ilgili konular.

**Üretimi:** Biyoplastiklerin üretiminde hammadde olarak biyoesaslı materyaller kullanılsa da üretimi sırasında fosil yakıtların kullanılmaya devam etmesi, çevreci özelliğini zedelemektedir. Biyoplastiklerin üretim maliyetleri petrol kaynaklı plastiklere göre daha yüksektir, bunun nedenlerinden biri daha az miktarda üretilmesidir. Her ne kadar tüketiminin yaygınlaşması ve üretimin artmasıyla maliyetlerin düşebileceği mümkün olsa da, bitkisel hammadde olarak kullanılan soya, mısır, patates nişastası gibi tarımsal ürünlerin aynı zamanda dünya nüfusunu besleyen gıda türleri olması, gıda güvenliği düşünüldüğünde uzun vadede maliyeti yükselten bir faktördür. Öte yandan biyoplastik için tarımı yapılan bitkilerin GDO'lu tohumlardan olması, pestisit ve sentetik gübre gibi kimyasalların

tarımsal alanların kirlenmesine yol açacak olması diğer tarım arazilerini de tehdit etmektedir. Ayrıca, küresel iklim değişikliğinin yol açtığı gıda krizi yaşanırken, tarımsal alanların gıda üretimi yerine biyoplastik üretimine ayrılması da ayrı bir tartışma konusudur. Biyoplastiklerin yenilenebilir kaynak kullanması üstünlük gibi görünmekle birlikte bunun bedeli ekosistemin kalitesinin bozulması ve gıda üretiminden giden pay ile ödenecektir. Elbette bu sorunlara tarımsal ürün atıklarının kullanmak ya da gıda üretimi yapılamayacak alanların kullanılması gibi alternatifler geliştirilebilir.

**Atık Yönetimi:** Biyoplastiklerle ilgili en çok tartışma konusu atıkların bertarafıdır. Biyoplastikler için oluşturulmuş standartta, biyobozunurluk; “mikroorganizmaların enzimatik mekanizmayla polimerleri CO<sub>2</sub>, metan, su ve inorganik bileşenlere ayrıştırması” şeklinde tanımlanmıştır (ASTM D-5488-94d). Bu mekanizma ise ancak bu amaçla tesis edilmiş geridönüşüm tesislerinde tam anlamıyla gerçekleşmektedir. Özellikle PHA ve PLA gibi biyoplastik ürünlerin etiketlerinde görülen % 100 biyoçözünürlük ibaresi yanıltıcı olmakta, toprağa karışması tek başına yeterli olmayacaktır. Diğer bir sorun ise içeriğinde belli bir oranda biyoplastik bulunan ürünlerin tam anlamıyla biyoçözünür olamayacağıdır. Aynı şekilde ticari amaçla daha dayanıklı hale getirmek üzere kimyasal olarak modifiye edildiklerinde bu biyoplastikler biyoçözünmeye karşı da daha dirençli olmaktadır (http-1:5Gyres, 2017, s. 11).

Biyoplastiklerin diğer plastiklerle karışmadan geridönüşüm tesislerine gitmesi gerekiyor. Karışık halde toplanan bu farklı türde plastikler atık ayrıştırılmasını zorlaştırdığı gibi, petrol bazlı plastiklerin de geridönüşüm kalitesini bozmaktadır. Atıkların belirli bir sistem dahilinde toplanması, bunun içinse doğru etiketleme (ecolabeling) önemli bir rol oynuyor. Etiketlerinde “kompostlanabilir” ya da “% 100 biyoçözünür” gibi terimler atıkların kaynağında

ayrıştırılmasını olumsuz etkilemektedir. Oysa bu etiketlemenin yine AST-ISO-EN standartlarına uygun yapılması gerekmektedir. Biyobozunma için gerekli uygun nem ve ısı gibi koşulların denetlendiği tesislerde ayrıştırılmayan biyoplastikler, doğaya bırakıldıklarında düşük düzeylerde çözünebilmekte, hatta suya ulaştıklarındaysa diğer plastik kirleticilerden farkı kalmamaktadır.

#### **Kullanımı ve tüketici yaklaşımları:**

Biyoplastikler her ne kadar çevreci özellikleriyle tanıtılsa ve üretilse de sonuçta kullanımının yaygınlaşması, malzemenin doğasına uygun tasarlanması ve tüketicilerin bilinçli şekilde tercih etmelerine bağlıdır. Biyobazlı ürünlerin gerçekten çevre dostu olduğunu kabulden hareketle, yaygınlaşabilmesi için sadece teknolojik fizibilite ve ekonomik uygulanabilirlik yeterli olmamaktadır. Bu tür bir ürünün tüketici tarafından kabul görmesi sadece çevre dostu olmasına bağlı değildir. Araştırmalar çevre bilinci yükselse bile tüketicilerin ürün tercihi yaparken kendi gereksinimlerine göre davrandıklarını ortaya koymuştur. Tüketici tarafından biyolojik temelli olması ek bir değer olarak görülürken ürünün tercih edilmesinde kullanışlılık, fiyat, estetik gibi özelliklerinin de rekabet edebilir nitelikte olmasının önemli olduğu sonucuna varılmış. Tüketicinin algısı esas olarak biyobazlı üretim yöntemlerinin faydasından çok son üründe kendisi için nasıl bir fayda sağlayacağına odaklanmaktadır. Bununla birlikte, biyo-esaslı ürünlerin tüketilmesi, çevre dostu ve sağlıklı olanı tüketerek, kendini iyi hissetmek gibi kişisel faydalarla veya sürdürülebilir ve sağlıklı bir yaşam tarzına sahip olmak gibi kişisel güdülerle ilgili olduğu görülmektedir (Sijtsemaa, Onwezena, Reindersa, & Dagevosa, 2016, s. 67).

Biyobazlı ürünlerle ilgili tüketici algısı üzerine 2016 da yapılan bir araştırma genel olarak tüketicilerin bu ürünlere çok da aşına olmadıklarını göstermiştir (Sijtsemaa, Onwezena, Reindersa, & Dagevosa, 2016). Görünüm



itibarıyla çoğunlukla petrol kaynaklı plastiklerle benzer olmaları günlük hayatta ayırtedilmelerini de zorlaştırmaktadır. Tüketiciler biyoplastikle ilgili birden çok terimle karşılaşabiliyorlar; “biyobozunur”, “kompostlanabilir”, “biyoplastik”, “biyopolimer”, “çevredostu” vs. Bu farklı terimler tüketicilerde kafa karışıklığına yol açıp, ürüne dair güvensizlik ya da olumsuz bir takım tavıra neden olabiliyor. Bu terimler ürünlerin renkleri, ambalaj grafikleri hatta tasarımları ile biçimsel olarak desteklenebiliyor. Çevre bilinci yüksek tüketicilerin ilgisini çekmek isteyen firmalar, üretimlerinde fosil yakıt kullanılıyor olsa da bu çevreci imajı kullanmayı sürdürmektedir. Bu durum yine bilinçli kullanıcıların güvenlerini sarsmaktadır (http-1:5Gyres, 2017, s. 11). Hatta gerçekte tümüyle çevreci olmaktan uzak ürünlerin, çevre duyarlılığını ticari amaçla kullanılmak isteyen firmalarca, greenwashing (yeşile boyama) yöntemi ile “çevre dostuymuş” gibi pazarlanmaya çalışıldığı bilinmektedir. Bu nedenle de bu tür pazarlama biçimleri kuşkuyla karşılanabilmektedir (Sijtsemaa, Onwezena, Reindersa, & Dagevosa, 2016, s. 68).

Sürdürülebilir tasarım yaklaşımı kullanıcı gereksinimlerine çözüm ararken dünyanın geleceğini de gözlemeyi gerektirir. Bu yaklaşım kapsamında önemli konulardan biri olan çevre dostu malzeme seçimi, tek başına yeterli olmamaktadır. Çevre dostu malzemeyle üretilecek ürünü tasarlarken hem ürünün işlevine uygun kullanılması hem de ürün yaşam döngüsünü tümüyle hesaba katmak gerekiyor.

Plastiklerin gündelik hayatımıza ilk girdiği yıllarda insanlar için plastik “ucuzluğu”, “düşük kaliteyi” ve “otantik olmamayı” temsil ediyordu, dokunsal deneyimler önceki materyallere göre tatmin edici değildi, hafiftiler, porselenler kadar parlak, metaller kadar sert değillerdi. (Karana, 2012, s. 316). Ürün tasarımcıları yeni estetik değerlerin belirlenmesinde, malzemeleri farklı bağlamlarda ve formlarda sunmakta önemli rol oynamaktadır. Nasıl plastiğin ilk kullanılmaya başlandığı yıllarda plastiğe uygun kullanım

alanları ve tasarımla hayatımıza girdiyse, biyoplastiklerin kullanıcılar tarafından doğru algılanması ve tüketim tercihlerinde daha bilinçli davranabilmeleri için malzeme teknolojisi ile birlikte yeni stratejiler geliştirebilirler. Kullanıcıda bir ürünün ne çağrıştırdığı önceki deneyimleriyle yakından ilgilidir. “Doğallık” ve “yüksek kalite” algısının bir malzemeye nasıl atfedileceği ile ilgili Hollanda’dan 60 katılımcı ile ampirik bir çalışma yapılmış. Araştırmanın sonucunda tasarımcılar ve biyo-plastik malzeme geliştirenlerin kullanabileceği bir klavuz oluşturulmuştur. Özellikle diğer plastik malzemelerle benzer estetik özelliklere sahip biyoplastikleri kullanırken uygulanabilecek stratejik adımları şu şekilde sıralamışlar:

1. Kullanılacak biyoplastik, petrol bazlı olanlardan farklılığını vurgulayan estetik özellikleriyle kullanılmalıdır.
2. Kullanılacak biyoplastik türü, diğer plastikler yerine rastgele bir ikame malzemesi olarak kullanmak yerine ürünün karakterine, işlevine ve kullanılabilirliğine katkıda bulunacak şekilde kullanılmalıdır.
3. Biyoplastikler, malzeme ile daha uzun süre etkileşime girilebilecek dayanıklı ürünlere uygulanmalıdır. (Karana, 2012, s. 325)

**SON SÖZ OLARAK:** Yaşadığımız çağda çevre sorunları açısından bir ikileme karşı karşıyayız; plastik kullanmayı mevcut haliyle sürdürmemiz çevreyi yok etmek demek, plastik kullanmayı kesmek ise ekonomik büyümenin durması demek. Biyoplastikler, maliyet ve çevreci bazı olumsuzlukları yanı sıra petrol bazlı plastiklere göre çevre için daha olumlu bir gelecek vaat etmektedir (http-11:Ecofriend, 2019). Ayrıca tasarım ve pazarlama stratejileriyle daha verimli ve sistemli kullanılması da sağlanabilecektir.

Genel olarak literatür çalışmaları biyoplastiklerin yenilenemeyen kaynakların tüketimi ve sera gazı emisyonları açısından üstünlüğünü gösterirken, petrol kaynaklı plastiklerin asitlenme ve

ötrofikasyon ile ilgili etki endeksleri açısından tercih edilebilir olduğunu ortaya koymaktadır. Çevresel etki değerlendirme LCA teknikleri biyoplastiklerin tümü hakkında ortak bir yargıya varmamıza imkân tanımıyor ne yazık ki. Hangi çevresel etkiyi araştırmıza bağlı olarak iki farklı plastiği kıyasladığımızda üstünlükler değişebiliyor. (Gironi & Piemonte, 2011, s. 1958). Plastiksiz bir yaşamı düşünmek şimdilik mümkün görünmüyor, plastiği kullanırken çok daha bilinçli, kapsamlı ve teknik bir karar verme süreci gerekiyor. Üretimi sırasında uygulanan yöntemler, kaynak tüketimi, atıkların bertaraf

yöntemleri, hangi diğer malzemelerle birlikte kullanıldığı, endüstriyel tasarım süreçlerinde ne şekilde değerlendirildiği biyoplastiklerin çevreci olup olmadıklarına karar vermemizi etkileyen faktörlerdir. Teknolojik ve bilimsel veriler bütüncül bir üretim, tüketim ve bütüncül bir atık yönetimi modelleri için geçerli olabilir. Ancak gerçek yaşamda uygulanan veya uygulanamayan kurallar ve yöntemler, çevre üzerindeki etkisinin beklendiği gibi olmayabileceğini göstermektedir. Fakat sürdürülebilir tasarım yaklaşımı malzeme seçimi konusunda gezegenimizin geleceğinin sorumluluğuyla hareket etmeyi gerektirmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aslan, R. (2018). Mikroplastikler: Hayatı Kuşatan Yeni Tehlike . Göller Bölgesi Aylık Hakemli Ekonomi ve Kültür Dergisi Ayrıntı , s.63.
- Bezirhan Arıkan, E., & Bilgen, H. (2019). Investigation of Biodegradation of Strach Based Bioplastic Spoon Wastes. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, s.294-300.
- Denizli, A., & Yavuz, H. (2017). MİKROPLASTİKLER VE DÜNYAMIZ. TÜBA Gunce Dergisi, s.64-66.
- Gironi, F., & Piemonte, V. (2011). Bioplastics and Petroleum-based Plastics: Strengths and Weaknesses. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, s.1949-1959.
- Hamamcı, B., Çiftçi, M., & Aktaş, T. (2018). Yeşil Kompozitlerde Biyopolimerlerin Kullanımının Önemi. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, s.12-24.
- Hazer, B. (2012,Jun 25). Biyobozunur Plastik Ambalaj Malzemeleri. Sağlık Çevre Kültürü-Sayı 6, s.50-55.
- Kaplan, D., Mayer, J., Ball, D., McCassie, J., & Allen, A. a. (1993). Fundamentals of Biodegradable Polymers. C. Ching içinde, Biodegradable Polymers and Packaging, s.1-42. Basel: Technomic Publishing Company, Inc.
- Karana, E. (2012, july 31). Characterization of 'natural' and 'high-quality' materials to improve perception of. Journal of Cleaner Production, s.316-325.
- Köksal, Ö., Aydın Er, B., Ardalı, Y., & Sağlam, M. (2019). Biyoplastiklerin Biyodegradasyonu. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, s.151-167.
- Purde, Ö. (2007). ENDÜSTRİ ÜRÜNLERİ TASARIMINDA KULLANILAN ÇEVRE DOSTU PLASTİK MALZEMELER VE PLASTİĞİN GERİ KAZANIMI. istanbul, Marmara Üniversitesi G.S.Enstitüsü: yayımlanmamış yüksek lisans tezi.
- Rognoli, V. (June, 2011 ). The aesthetic of interaction with materials for design: the bioplastics' identity. Proceedings of the 2011 Conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces, s. 1-8. Milano Italy : Association for Computing MachineryNew YorkNYUnited States.
- Sijtsemaa, S. J., Onwezema, M. C., Reindersa, M. J., & Dagevosa, H. (2016). Consumer perception of bio-based products—An exploratory study in 5 European countries. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences 77, s.61-69.
- Yurtsever, M.(2018). küresel plastik kirliliği, nano mikroplastik tehlikesi. çevre bilim ve teknoloji s.171-197
- İNTERNET KAYNAKLARI :
  - http-1 : 5Gyres. (2017,November). Plastics BAN List 2.0. [https://www.5gyres.org/publications:https://static1.squarespace.com/static/5522e85be4b0b65a7c78ac96/t/5acbd346562fa79982b268fc/1523307375028/5Gyres\\_BANlist2.pdf](https://www.5gyres.org/publications:https://static1.squarespace.com/static/5522e85be4b0b65a7c78ac96/t/5acbd346562fa79982b268fc/1523307375028/5Gyres_BANlist2.pdf) (erişim tarihi:18.11.2020)
  - http-2 :Ataş, N. T. (2019, 10 15). Biyoçeşitlilik ve Doğa - plastik. Greenpeace Türkiye: <https://www.greenpeace.org/turkey/blog/yalanlar-istiyorsan-yalanlar-soyleyeyim/> (erişim tarihi: 06,12,2020 )
  - http-3: BBC News.(2019, 12 02). BİYOPLASTİK ÜRÜNLER ÇEVRE DOSTU MU? biomedya.com. bioteknolojileri ve yaşam bilimleri gazetesi: <https://www.biomedya.com/biyoplastik-urunler-cevre-dostu-mu> (erişim tarihi: 06,01,2020)
  - http-4: Garside, M. (2019, Nov 8). Global plastic production from 1950 to 2018 (in million metric tons). statista: <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/> (erişim tarihi : 06,09,2020 )
  - http-5: Plantics.nl. Plantics.nl: <https://plantics.nl/#story> (erişim tarihi:06,10,2020)
  - http-6: Sade, G. (2019, 03 31). avrupa-plastik-atiklarla-nasil-mucadele-ediyor-turkiye-ne-yapiyor. euronews TR.: <https://tr.euronews.com/2019/01/24/avrupa-plastik-atiklarla-nasil-mucadele-ediyor-turkiye-ne-yapiyor> (erişim tarihi: 06,08,2020 )
  - http-7: Yelken, R. (2020,Jun,08 ). Biyo-bozunur ambalajlar ve endüstrideki gelişmeleri. plastik-ambalaj teknolojisi: <http://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/1670-biyo-bozunur-ambalajlar-ve-endüstrideki-gelismeleri>(erişim tarihi: 06,11,2020)
  - http-8: Saklar Ayyıldız, S. (2007,Aralık ,25). Ambalaj ve Nanoteknoloji. Dünya Gıda: <http://www.dunyagida.com.tr/haber/ambalaj-ve-nanoteknoloji/2538> (erişim tarihi: 06,09,2020 )
  - http-9: Sarıgül, T. (2018 ,06,25). Plastikler Dünya'yı Nasıl Değiştiriyor? bilimgenc.tubitak: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/plastikler-dunyayi-nasil-degistiriyor> (erişim tarihi: 06,08,2020)
  - http-10: Yoshida, S. v. (2016,04,04). Plastik Yiyen Bakteriler. Yeşil Aşk: <https://www.yesilaski.com/plastik-yiyen-bakteriler.html> (erişim tarihi: 06,07,2020)
  - http-11:Ecofriend. (2019, 04). Bioplastics: Advantages, Disadvantages, Trends, and more. ecofriend.com: <https://ecofriend.com/bio-plastics-good-bad-ugly.html> (erişim tarihi:20,11,2020)

## İnternet Kaynakları

- *http-1 : 5Gyres. (2017,November). Plastics BAN List 2.0. <https://www.5gyres.org/publications>: [https://static1.squarespace.com/static/5522e85be4b0b65a7c78ac96/t/5acbd346562fa79982b268fc/1523307375028/5Gyres\\_BANlist2.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5522e85be4b0b65a7c78ac96/t/5acbd346562fa79982b268fc/1523307375028/5Gyres_BANlist2.pdf) (erişim tarihi:18.11.2020)*
- *http-2 :Ataş, N. T. (2019, 10 15). Biyoçeşitlilik ve Doğa - plastik. Greenpeace Türkiye: <https://www.greenpeace.org/turkey/blog/yalanlar-istiyorsan-yananlar-soyleyeyim/> (erişim tarihi: 06,12,2020 )*
- *http-3: BBC News.(2019, 12 02). BİYOPLASTİK ÜRÜNLER ÇEVRE DOSTU MU? [biomedya.com](http://biomedya.com). bioteknolojileri ve yaşam bilimleri gazetesi: <https://www.biomedya.com/biyoplastik-urunler-cevre-dostu-mu> (erişim tarihi: 06,01,2020)*
- *http-4: Garside, M. (2019, Nov 8). Global plastic production from 1950 to 2018 (in million metric tons). [statista](http://statista.com): <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/> (erişim tarihi : 06,09,2020 )*
- *http-5: Plantics.nl. [Plantics.nl](http://plantics.nl): <https://plantics.nl/#story> (erişim tarihi:06,10,2020)*
- *http-6: Sade, G. (2019, 03 31). avrupa-plastik-atiklarla-nasil-mucadele-ediyor-turkiye-ne-yapiyor. [euronews](http://euronews.com) TR.: <https://tr.euronews.com/2019/01/24/avrupa-plastik-atiklarla-nasil-mucadele-ediyor-turkiye-ne-yapiyor> (erişim tarihi: 06,08,2020 )*
- *http-7: Yelken, R. (2020,Jun,08 ). Biyo-bozunur ambalajlar ve endüstrideki gelişmeleri. [plastik-ambalaj teknolojisi](http://www.plastik-ambalaj.com): <http://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/1670-biyo-bozunur-ambalajlar-ve-endüstrideki-gelismeleri>(erişim tarihi: 06,11,2020)*
- *http-8: Saklar Ayyıldız, S. (2007,Aralık ,25). Ambalaj ve Nanoteknoloji. Dünya Gıda: <http://www.dunyagida.com.tr/haber/ambalaj-ve-nanoteknoloji/2538> (erişim tarihi: 06,09,2020 )*
- *http-9: Sarıgül, T. (2018 ,06,25). Plastikler Dünya'yı Nasıl Değiştiriyor? [bilimgenc.tubitak](http://bilimgenc.tubitak.gov.tr): <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/plastikler-dunyayi-nasil-degistiriyor> (erişim tarihi: 06,08,2020)*
- *http-10: Yoshida, S. v. (2016,04,04). Plastik Yiyen Bakteriler. Yeşil Aşk: <https://www.yesilaski.com/plastik-yiyen-bakteriler.html> (erişim tarihi: 06,07,2020)*
- *http-11:Ecofriend. (2019, 04). Bioplastics: Advantages, Disadvantages, Trends, and more. [ecofriend.com](http://ecofriend.com): <https://ecofriend.com/bio-plastics-good-bad-ugly.html> (erişim tarihi:20,11,2020)*
- *http-12: Pittsburg (2020) . Plant-based plastics not necessarily greener than oil-based relatives <https://phys.org/news/2010-10-plant-based-plastics-necessarily-greener-oil-based.html> (erişim tarihi: 06,07,2020)*