

Yenilenebilir Biyoplastik Üretiminde Alglerin Kullanımı

Nilgün ÖZDEMİR¹, Jülide ERKMEN²

¹Cumhuriyet Cad. Çaykara İş Hanı Kat:2 No:221, Erzurum, TÜRKİYE

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar: nilgun_ozdemir@hotmail.com

Geliş Tarihi: 13.07.2012

Kabul Tarihi: 12.01.2013

Özet

Biyo-çözünürlüğü yüksek, yenilenebilir karbon kaynaklarından ya da biyolojik kökenli polimerlerden elde edilen plastikler olarak tanımlanan biyoplastikler, bitki, hayvan, mantar veya bakteriler gibi canlı organizmalar tarafından üretilen, ekolojik ve sürdürülebilir biyolojik materyallerdir. Kimyasal olarak sentezlenen polimerlerin aksine, bu polimerler hidroksi-açıl-CoA türevlerinden farklı metabolik yollar aracılığı ile elde edilir. Ayrıca, biyoplastikler, kaynağına bağlı olarak monomer kompozisyon, makromoleküler yapı ve fiziksel özellikler bakımından birbirlerinden farklıdırlar. Bununla birlikte biyoplastiklerin kaynağını oluşturan canlı organizmaların yetiştirilmelerinde yaşanan sorunlar ve buna bağlı olarak yoğun bir biyokütlenin elde edilemeyeşi biyoplastik üretiminde yaşanan önemli bir sorundur. Oysa biyoplastik üretiminde alglerin kullanımı, mikrobiyal kaynaklara kıyasla güçlü bir alternatif olabilir. Çünkü algler yüksek biyokütle ve büyüme hızına ve doğal ortamda kolay bir şekilde kültüre edilebilme özelliğine sahiptirler. Bu derlemede sürdürülebilir bir çevre için yenilenebilir, biyo-çözünür özellikte, biyolojik olarak uyumlu, toksik olmayan ve çevreyle dost biyoplastik üretiminde alglerin kullanımına yönelik uygulamalar araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alg, Plastik, Yenilenebilir biyoplastik, Biyomateryal

Use of Algae in Production of Renewable Bioplastics

Abstract

Bioplastics, defined as plastics derived from renewable carbon sources that are biodegradable or bio-based polymers, are biomaterials produced by living organisms, such as plants, animal, fungi or bacteria, ecological and sustainable. Unlike the chemically synthesized polymers, these polymers are usually built from hydroxyacyl-CoA derivatives via different metabolic pathways. In addition, depending on their origin, bioplastics differ in their monomer composition, macromolecular structure and physical properties. However, non-availability of an intensive biomass depending on difficulties involved in cultivation, is an important problem in the production of bioplastics. In such cases, algae can be a powerful alternative than other microbial sources. Because algae has high biomass, growth rate and ease of culture in natural environment. Consequently, bioplastics based on algae are a feasible alternative in that they are not based on fossil resources and can easily be biodegraded and biocompatible, which makes them extremely noteworthy from the biotechnological point of view. In this review, applications for the use of algae in renewable, biodegradable, biocompatible, non-toxic and environment-friendly bioplastic production for a sustainable environment are investigated.

Keywords: Algae, Plastic, Renewable bioplastic, Biomaterial

GİRİŞ

Petrol ya da kimyasal bazlı, yüksek moleküler ağırlığa sahip organik moleküllerden ya da polimerlerden elde edilen sentetik veya yarı sentetik materyaller olan plastikler (Björkner ve ark., 2011; Rajendran ve ark., 2012), gelişen teknolojiye paralel olarak her gün yeni uygulamalara imkân sağlamaktadır. Kolay uygulanabilir özellikte ve diğer sektörler için çok kolay entegre olabilen bir yapıya sahip olması plastiğin, modern hayatta ev aletlerinden, tıbbi cihazlara, otomotiv sektöründen ambalaj malzemelerine kadar hemen her alanda yaygın bir kullanıma ve artan bir üretim miktarına sahip olmasını sağlamıştır (Sevilmiş, 2012). Bunun sebepleri hafiflik, yüksek kimyasal dayanıklılık, yalıtıcılık (elektrik, ısı ve ses), hijyen, yüksek esneklik ve darbe mukavemeti, yüksek tokluk özelliği, optik özellikler (şeffaflık), kolaylıkla işlenebilirlik (şekillendirilebilme), özelliklerin istekler doğrultusunda değiştirilebilmesi, düşük maliyet (hammadde ve imalat), tasarımının kolaylığı ve atmosferik koşullara dayanım gibi özellikleridir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Bundan dolayı plastik insan yaşamına kolay bir şekilde entegre olmuş ve tüm dünyada cam, metal, kauçuk, ağaç, inorganik maddeler gibi malzemelerin yerine alternatif malzeme olarak veya bu malzemelerle birlikte kullanılarak küresel düzeyde bir hayli değerli bir materyal haline gelmiştir (Pei ve ark., 2011). Öyle ki plastik sektörü Avrupa Birliği'nde 15 milyon kişiye istihdam sağlarken, yılda ortalama 160 Milyon Euro katma değer yaratmaktadır. Dünya plastik sektöründe ise 60 milyon kişiye istihdam sağlandığı ve yılda ortalama 700 milyar Euro'luk katma değer yaratıldığı tahmin edilmektedir. (DPT, 2006). Gerek ekonomikliği gerekse kolay uygulanabilir olması, plastiğin diğer maddelere göre tüketimini hızla artırırken, plastik tüketiminin fazlalığı da ülkelerin gelişmişliğinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Sevilmiş, 2012).

Bununla birlikte günümüzde bir yıllık sentetik plastik üretimi için en az 150 milyon ton civarında petrol kullanılmakta ve 500 milyon tonun üzerinde toksik kimyasal barındıran ve doğada çözünemeyen atık oluşmakta, bunların yanması, küresel ısınmada payı olan dioksin gibi zararlı kimyasalların ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Prieto, 2007; Song ve ark., 2009; Rajendran ve ark., 2012). Diğer taraftan plastiğin geri dönüşümü de oldukça zordur. Çünkü her bir plastik malzeme yapısında farklı kimyasallar içerdiğinden geri dönüşümlerinde de yüksek maliyetli farklı prosesler uygulanmak zorundadır (Hopewell ve ark., 2009). Ayrıca, plastiğin gerek üretim ve gerekse yakma prosesleri sırasında insan sağlığını direkt veya dolaylı olarak etkileyen ve endokrin bozuklukları, kanser, bağışıklık sisteminin baskılanması ve çeşitli yan etkiler gibi bir takım hastalıklara neden olan toksik ve kanserojen maddeler serbest kalmaktadır (Thompson ve ark., 2009).

Oysa petrol ya da kimyasal türevli olmayan ve tamamen biyolojik kaynaklı (hayvan, bitki, bakteriler gibi) plastik üretimi, biyo-çözünürlüğün yüksek olmasından dolayı daha sürdürülebilir bir üretim şekli olarak görülmektedir.

Plastikler her ne kadar yüzyılın en büyük yeniliği olarak düşünülse de, karada ve okyanuslarda akıbetlerinin ne olduğu, çözünmelerinin ne kadar zaman alacağı gibi belirsizlikler ve mevcut zararları göz önüne alındığında çevre ve insan sağlığı üzerinde her zaman bir tehdit olmaya devam

edeceklerdir. Bu nedenle pek çok ülke biyosferden hemen bertaraf edilebilecek, yeni ve yaygın kullanıma sahip materyallerin keşfi ve üretilmesi için özel programları teşvik etmekte ve bu kirleticilerin transformasyonunu kolaylaştırma hedefli stratejiler geliştirmektedir. Bunlar arasında hiç şüphesiz biyoteknoloji uygulamaları sonucunda geliştirilmiş olan biyolojik tabanlı, kolay çözünebilir ve yenilenebilir özelliğe sahip biyoplastikler gelmektedir.

Biyoplastik

Yenilenebilir karbon kaynaklarından ya da biyolojik kökenli polimerlerden elde edilen plastikler olarak tanımlanan biyoplastikler, bitki, hayvan, mantar, alg veya bakteriler gibi canlı organizmalar tarafından üretilen biyolojik materyallerdir (Luengo ve ark., 2003; Rajendran ve ark., 2012; Reddy ve ark., 2012). Bilindiği üzere biyomateryaller, biyoteknolojik uygulamalarla farklı organizmalar tarafından sentezlenen ve katabolizlenen doğal ürünlerdir. Biyomateryaller konvensiyonel sentetik ürünlere kıyasla pek çok canlı tarafından kolay bir şekilde asimile edilebilir ve biyo-uyumlu olduklarından mevcut organizmada toksik etkiye neden olmazlar (Vroman ve Tighzert, 2009). Bu bağlamda biyoplastikler, farklı besin ve çevrede yetiştirilen geniş bir mikroorganizma aralığında üretilen biyomateryallerin özel bir formu olarak da tanımlanabilir. Biyoplastikleri geleneksel plastiklerden üstün kılan özellikleri; kolay bir şekilde bozunmaları, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaları, toksik etki bırakmamaları, geri dönüşümlerinin daha kolay olması, üretimlerinde daha az enerjiye ihtiyaç duymaları, yenilenebilir ve ekolojik olmaları şeklinde özetlenebilir (Luengo ve ark., 2003).

Biyoplastikler günümüz dünyasında yeni bir gelişme olarak görülse de aslında 19. yüzyılın başlarında sadece şekerlemelerin kaplanmasında kullanılmış fakat biyolojik orijinli olmaları kültür aşamasında ek bir maliyet getirdiğinden o yıllarda çok da önemsenmemiştir.

Günümüz biyoplastik üretimi, yıllık büyüme oranı %5 olan geleneksel plastiklerden daha hızlı bir büyüme oranına sahiptir (%30). Pazar araştırmaları üretim miktarının 2013'de 2,33 milyon ton (mt), 2020'de ise 3,45 mt'a erişebileceği yönündedir. Yine biyoplastik üretiminde yıllık ortalama büyüme oranı 2009'dan 2013 yılına %37, 2013'den 2020 yılına kadar %6 olarak belirlenmiştir (Shen ve ark., 2009; Reddy ve ark., 2012). Bununla birlikte biyoplastiklerin dünya çapında üretim miktarı 2011 yılı itibarıyla 1,168 mt ve tüketim miktarı 12,3 mt olarak tahmin edilmektedir. Üretim ve tüketim miktarları karşılaştırıldığında üretimin talebi karşılayamadığı ve halen emekleme aşamasında olduğu söylenebilir. Ayrıca biyoplastik endüstrisinin 2020 yılına kadar 20 milyar dolar değerinde olabileceği tahminler arasında yer almaktadır. Diğer taraftan biyoplastiklerin en çok kullanıldığı sektörler Şekil 1'den de görüleceği üzere ambalaj sanayi ve kozmetik, oyuncak gibi sanayilerin yer aldığı tüketici ürünleri segmentidir (Miksic, 2012).

Biyoplastik hammaddeleri

Amerika Birleşik Devletleri 2002 yılı “Çiftlik Güvenliği ve Kırsal Yatırım Yasası”na göre biyolojik temelli materyallerin kaynakları hem karasal hem de aquatik olmak üzere bitkisel, hayvansal ve bakteriyel kaynaklardır (USDA, 2008). Diğer taraftan Reddy ve ark. (2012) biyolojik temelli materyallerden olan biyoplastiklerin tanımlanmasında “biyolojik plastik” ve “biyoçözünür” plastik terimlerinin çoğu zaman birbirlerinin yerine kullanıldığını fakat bunun yanlış olduğunu bildirmektedirler. Onlara göre plastik doğadan türetilen bir biyopolimer veya doğaya geri dönebilen bir polimerken, bir biyoplastik biyolojik kökenli ve/veya biyoçözünür olabilir. Dolayısıyla biyoplastikler, tamamen yenilenebilir biyolojik kaynaklardan, biyo-çözünür fosil kaynaklı polimerlerden veya her ikisinin karışımından elde edilebilirler (Şekil 2).

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyoplastikler nişasta (genellikle mısır, patates, arpa, buğday, pirinç, manyok ve sorgumdan elde edilir) (Lörcks, 1998; Momani, 2009; Cheng-Cheng, 2011), selüloz (genellikle odundan elde edilir) (Nawrath ve ark., 1995), lignin (Kumar ve ark., 2009), protein (buğday gluteni, albümin) (Jerez ve ark., 2007) ve yağ (Yenwo ve ark., 1977) gibi bitkisel hammaddelerden sentezlenmektedir. Bu hammaddeler içerisinde özellikle nişasta %80 pazar payı ile sektörde lider konumundadır (Arıkan, 2009). Bu grubun en yaygın örnekleri polilaktik asit (PLA) ve polihidroksialkonatlarıdır (PHAs). Bununla birlikte son zamanlarda gelişen teknolojiyle birlikte naylon, polietilen (PE) ve polipropilen (PP) gibi konvensiyonel polimerler de biyolojik olarak sentezlenmeye başlanmıştır (Reddy ve ark., 2012). Bir diğer konvensiyonel polimer olan polibütülen süksinat (PBS)’ın hammadesi petrol olmasına rağmen son zamanlarda Nature Works ve BioAmber şirketlerinin ortak bir girişimiyle bu polimerin yenilenebilir süksinit asitten üretileceği bildirilmiştir (de Guzman, 2012). Yenilenebilir polimerlerin biyo-çözünürlüğü aynı zamanda onların kimyasal yapılarına da bağlıdır. Örneğin; PLA ve PHA biyo-çözünür özelliğe sahipken, PP ve PE böyle bir özelliğe sahip değildir.

Petrol türevli biyoplastikler, polikaprolakton (PCL) ve polibütülen adipat tereftalat (PBAT) gibi sentezlerinde petrol türevli monomerlerin kullanıldığı biyo-çözünür polimerlerdir. Bu nedenle bu polimerler ancak kullanım sürelerinin sonunda bozunmaya uğrarlar ki bu da çok uzun bir zaman alabilir.

Biyolojik-petrol karışumlu biyoplastikler, politrimetilen tereftalat (PTT), biyotermoset, biyonaylon gibi biyolojik ve fosil kökenli kaynakların kombinasyonu ile elde edilen polimerlerdir. Örneğin PTT, biyolojik tabanlı 1,3-propanediol ve petrol türevli tereftalik asitin birleştirilmesi ile üretilmektedir (Reddy ve ark., 2012).

Yeni yeni gelişmekte olan bir diğer akım mühendislik polimerlerinin biyolojik kaynaklardan sentezlenmesidir. Zira bitkilerden üretilen naylon ve PTT, dayanıklı tüketim mallarının imalinde kullanılmakla birlikte özellikle otomotiv sektörü için önemli bir kazanç olarak görülmekte hatta petrol türevli polimerlerin yerini alabileceği düşünülmektedir.

Biyoplastikler arasında PLA ve PHA üretim ve kullanım açısından lider konumundadır. Bu polimerler bitkisel nişasta ile birlikte elastiki film, enjeksiyon kalıplı objeler ve zirai malç gibi kısa ömürlü ürünlerin yapımında, yağlı bitkilerden çıkarılan yağdan elde edilen polihidrik alkoller ise poliüretan sentezi için kullanılmaktadır.

Biyoplastik veya biyopolimer üretiminde en çok kullanılan biyolojik kaynaklardan biri de bakterilerdir. Değişik besin ve çevre koşulları altında gelişen mikroorganizmalar, uygun olmayan üreme koşullarında canlılığını devam ettirebilmek için intraselüler depo materyali olarak granüller halinde PHA sentezlemektedirler. PHA, glikojenin PHA'ya transformasyonu sonucu meydana gelir ve bu hücre içi depo materyali bakterilerde, insanlarda/hayvanlarda yağ ve bitkilerde nişasta gibi karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Page, 1992). Yapılan çalışmalarda gram pozitif ve gram negatif bakterilerden izole edilen PHA'nın, polipropilenle benzer özellik gösterdiği bildirilmektedir (Braunegg ve ark., 1998; Luengo ve ark., 2003; Verlinden ve ark., 2007). Farklı tip PHA'lar değişik bakteriler kullanılarak elde edilebilmektedir. Örneğin; *Alcaligenes eutrophus* bakterisi poli-3-hidroksibütirat (PHB) gibi kısa- zincirli-PHA üretirken (hücre kuru ağırlığının %80'i), *Pseudomonas oleovorans* bakterisi ise orta-uzunlukta-zincirli-PHA'lar üretmektedir. PHA'nın üretiminde kullanılan en önemli bakteri türleri *Bacillus megaterium* (kuru ağırlığının %20'si PHA) (Floccari ve ark., 1995), *Klebsiella aerogenes* rekombinantları (kuru ağırlığının %65'i PHA) (Zhang ve ark., 1994), *Pseudomonas resinovorans* (kuru ağırlığının %45'i PHA) bakterileridir (Ashby ve Foglia, 1998).

Birçok farklı tipte PHA sentezlenmesine rağmen hem endüstride hem de akademik çalışmaların çoğunda en yaygın görülen PHA türü poli-(R)-3-hidroksil bütirat (PHB) ve hidroksivalerian asit (HV) içeren PHB kopolimerleridir. PHB termoplastik özellikli alifatik bir polyester olup tamamen biyo-çözünür özelliktedir (Suriyamongko ve ark., 2007; Madison ve Huisman, 1999). Bu polyester bakterilerin metabolizmalarında ürettikleri asetil koenzim A'nın, 3-ketotiyolaz, aseto asetil-CoA redüktaz ve PHB sentaz gibi biyosentetik enzimlerin vasıtasıyla elde edilir (Steinbüchel ve Schlegel, 1991). Optimal şartlar altında *Ralstonia eutropha* H16 gibi bir bakteri hücre sel kuru ağırlığının %80'inden fazla PHB üretebilmektedir. PHB, günümüzde Metabolix ve Micromidas gibi uluslararası şirketler tarafından çeşitli bakteriler kullanılarak nişasta, mısır ve şekerin fermente edilmesiyle ticari ölçekte üretilmektedir (Hempel ve ark., 2011) (Şekil 3). Bakteriyel fermentasyon yöntemiyle yüksek konsantrasyonlarda polimer üretimi, PHA biyosentez genlerin transferi ile rekombinant organizmalar oluşturularak gerçekleştirilmektedir (Ediz ve Beyatlı, 2005), ancak bu oldukça pahalı bir süreçtir.

Diğer taraftan biyoplastik kaynaklar içerisinde sadece nişasta ve selüloz (doğal polimerler) orijinli biyoplastikler ileri biyoteknolojik teknikler olmaksızın üretilirken, diğer biyoplastik tiplerinde veya bu plastiklerin monomer bileşenlerinin üretimlerinde ileri fermentasyon teknikleri veya mikrobiyolojik metotların uygulanması gerekmektedir (Reddy ve ark., 2012). Bitkisel kaynaklı biyoplastik üretiminde düşük biyomas, besin zincirini etkilemesi ve bitkisel üretimin uzun zaman alması; bakterilerden biyoplastik üretiminde ise, kontaminasyon riski, kültürlerinde spesifik şartların,

özel aparatların ve alt yapının gerekliliği üretimi sınırlayan faktörlerdir. Ayrıca biyoplastik endüstrisinin iki önemli hammaddesi olan nişasta ve petrolün (etilen, propilen ve stiren gibi kimyasal hammaddelerin kaynağı) küresel ekonomiden ve dolayısıyla fiyat dalgalanmalarından etkilenmeleri önemli bir dezavantajdır.

Oysa yenilenebilir olmayan geleneksel petrol/kimyasal bazlı materyal üretimini sınırlamak için yenilenebilir, ekolojik, biyo-çözünebilir ve sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen biyoplastik materyallerin üretimini ve kullanımını artırmak amacıyla son yıllarda değerli ve doğal bir polisakkarit kaynağı olarak algler (Alves ve ark., 2010) potansiyel bir alternatiftir.

Biyoplastik Üretiminde Algal kaynaklar

Algler organik karbon bileşiklerinin major primer üreticisi olup, güneş enerjisinin biyomasa dönüştürülmesinde en etkili ve en ekonomik fotosentetik sucul canlılardır. Latince “deniz otu” anlamına gelen ve “su yosunları” olarak da adlandırılan algler, birçok sucul canlının besin kaynağını oluşturmalarının yanında tüm dünyanın ihtiyacı olan fotosentetik karbon ihtiyacının üçte ikisini üretmeleri ve tüm ekosistemin bütünlüğünün korunması açısından oldukça önemlidirler.

Toplam 221 alg türü ticari olarak 35 ülkede gıda, biyoteknoloji, enerji, kimya sanayi gibi pek çok alanda ve farklı amaçlarla kullanılmaktadır (Şekil 4).

Alglerin özellikle endüstriyel amaçlı kullanımları mikro ve makro algler düzeyinde farklılıklar göstermektedir. Mikroalglerin üretimlerinde (bakteriyel kaynaklarda olduğu gibi) kontaminasyon riski ve hasatlarında yaşanan zorluklar nedeniyle üretimde hammadde olarak daha çok denizel makroalgler (*Porphyra*, *Laminaria*, *Gracilaria* gibi) tercih edilmektedir.

Alglerin besinsel analizleri incelediğinde karbonhidrat, protein, lipid, yağ asitleri, gliserol, doğal pigmentler (beta-karoten, astaksantin, ksantofil, fikobilin) ve canlılar için gerekli olan amino asitlerce (Durmaz ve ark., 2002) çok zengin oldukları, ayrıca mineral, vitamin, polisakkaritler (Arasaki ve Arasaki, 1983) ve polifenoller gibi antibakteriyel, antifungal ve antiviral özelliğe sahip biyoaktif maddeler (Kumar ve ark., 2008) içerdikleri tespit edilmiştir. Ancak alglerin esas kısmını polisakkaritler oluşturmaktadır. Örneğin; kırmızı alglerden *Porphyridium cruentum* (Rhodophyta) zengin bir polisakkarit kaynağı olup, hücreleri yüksek düzeyde sülfatlı şekerler üretmektedir (Durmaz ve ark., 2002). Bu özellikleriyle algler, doğal polisakkaritlerin veya karbon içeren şekerlerden elde edilen polimerlerin en iyi hammaddesi olduklarından, biyoplastik üretiminde yenilenebilir bir biyomas kaynağı olarak oldukça yüksek bir potansiyele sahiptirler.

Denizel alglerde bulunan doğal polisakkaritler

Polisakkaritler, glikozit bağlarla birbirine bağlanmış monosakkaritlerin (basit şekerler) stabilizatör, koyulaştırıcı (jelleştirici) ve emülgatör özelliğe sahip polimerleridir (Tseng, 2001). Denizel algler yüksek miktarda yapısal polisakkaritlerin (selüloz, hemiselüloz, nötral polisakkaritler) yanında mukopolisakkarit ve depo polisakkaritler (laminarin (β -1,3- glucan) (Murata ve Nakazoe,

2001; Kumar ve ark. 2008), floridean nişasta (amilopektin- benzeri glukan) (Burtin, 2003) da içermektedir. Denizel alglerde toplam polisakkarit miktarı Tablo 1'den de görüleceği üzere kuru ağırlığın %4-%76'sı arasında değişmektedir. Bazı makroalglerle yapılan çalışmalarda en yüksek içerik *Ascophyllum*, *Porphyra* ve *Palmaria* gibi türlerde tespit edilmiştir. Denizel alglerde bulunan yaygın polisakkaritler floridean nişasta, agar ve aljinatlar olup (Montaño ve ark., 1999) Şekil 5'de ayrıntılı bir şekilde şematize edilmiştir.

Polisakkaritler ister depo ister yapısal olsun türlere özgüdür (Tablo 2). Örneğin; yeşil algler sülfirik asit polisakkaritlerini, sülfat galaktanlarını ve ksilanları içerirken; kahverengi algler aljinik asit, fukoidan (sülfat fukoz), laminarin (β -1,3 glukan) ve sargasan; kırmızı algler agar, karragenanlar, floridean nişasta (amilopektin benzeri glukan) ve suda çözünebilir sülfat galaktan içermektedir (Holdt ve Kraan, 2011).

Tablo 1. Bazı denizel alglere ait toplam polisakkarit içeriği (%kuru ağırlık)

Polisakkarit içeriği	Kahverengi Algler					Yeşil Algler	Kırmızı Algler			
	<i>Laminaria</i> ve <i>Saccharina</i>	<i>Fucus</i>	<i>Ascophyllum</i>	<i>Undaria</i>	<i>Sargassum</i>	<i>Ulva</i>	<i>Chondorus</i>	<i>Porphyra</i>	<i>Gracilaria</i>	<i>Palmaria</i>
	%61 ^a	%66 ^b	%70 ^b	%35-45 ^c	%4-68 ^d	%15-65 ^{e,f,g}	%55-66 ^a	%76 ^a	%63 ^d	%74 ^b

^aMorrissey ve ark. (2001); ^bRioux ve ark. (2007); ^cJe ve ark. (2009); ^dMarinho-Soriano ve ark. (2006); ^eWong and Cheung (2000); ^fOrtiz ve ark. (2006); ^gSathivel ve ark. (2008); ^hHeo and Jeon (2009)

Tablo 2. Bazı makroalglerde bulunan polisakkarit miktarları (kuru ağırlığın g 100 g⁻¹) (Holdt ve Kraan 2011)

Algler	Aljinik asit	Fukoidan	Laminarin	Mannitol	Porpiran	Floridean nişasta	Pentoz
<i>Ascophyllum nodosum</i>	28	11.6	4.5	7.5			
<i>Laminaria digitata</i>	32.2	5.5	14.4	13.3			
<i>Porphyra umbilicalis</i>					47.8	41.8	-
<i>Palmaria palmate</i>					-	25	46

Alglerden biyoplastik yapımı

Biyoplastik üretiminde kullanılan temel unsur polisakkaritlerdir (Rajendran ve ark. 2012). Bu nedenle üretimde, polisakkaritlerin belirlenmesi ve ekstrakte edilmesi gerekmektedir.

Algal polisakkaritlerin ekstraksiyonu

Polisakkarit miktarı ve tipleri türe özgü olduğundan farklı ekstraksiyon metotları (Mian ve Perciva, 1973; Montaño, 1999; Souchet, 2004; Rioux ve ark., 2007; Miksic, 2012) geliştirilmiştir. Ancak burada alglerde yaygın olarak bulunan karregen, agar, fukoidan, laminarin ve alginat polisakkaritlerinin genel bir ekstraksiyon prosedürü verilmiştir.

Karregen: Öncelikle algal polisakkaritlerin kalite kontrolü hasatta başlamaktadır. Yosunlar toplanır, hızlı bir şekilde kurutulur ve daha sonra tazeliğini koruması için balyalanır. Üretim sırasında kurutulmuş yosunlar mekanik olarak öğütülür, kum ve tuz gibi yabancı maddeleri uzaklaştırmak için elenir ve kaliteyi artırmak üzere iyice yıkanır. Selülozik materyallerin atılmasında iki aşamalı arıtma

prosesi uygulanmaktadır. İlk önce çözülmüş karregen an karışımı selülozik partiküllerin uzaklaştırılması için santrifüj edilir. Bunu takiben daha küçük partiküllerin ayrılması için filtrasyon uygulanır ve solüsyon buharlaştırılarak suyun uzaklaştırılması ile konsantre edilir. Daha sonra karregen an iki proses metodundan biriyle geri kazanılır. İlk metot, karregen an solüsyonunun potasyum klorit çözeltisine yatırılmasıdır. Bu uygulama jelleşme sıcaklığını yükseltir ve böylece filtratın hemen jel olmasını sağlar. Jel daha sonra dondurulur ve çözündürme sırasında fazla suyu atmak için sıkıştırılır.

Diğer metotta konsantre karregen an solüsyonu izopropil alkolde çöktürülür. Karregen an alkolde çözünmediği için, alkol ve su arasında pıhtıya (koagulum) dönüşür. Bu pıhtı sıvı içeriğinin atılması adına sıkıştırılır ve alkolü tamamen uzaklaştırmak için vakumlanarak kurutulur. Kurutma işlemi, kurutucu bir şerit üzerinde tamamlanır ve kurutulmuş koagulum öğütülerek harmanlanır (FMC, 2012).

Agar: Öğütülmüş yosun %5'lik sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisinde 90 °C'de 1 saat süreyle pişirilir. Daha sonra yıkanır ve 750 mL %0,5'lik asetik asit (HOAc) çözeltisine 1 saat süreyle yatırılır. Bunu takiben tekrar yıkanır ve bir litre distile suda kaynatılır. Ardından karıştırılır ve süzülür. Filtrat toplanır ve dondurulur (bir gece). Ertesi gün oluşan jel çözülür ve kurutulur (Montaño ve ark., 1999).

Alginat: 100 gr yosun (*Laminaria*) öğütülür ve 0.1M hidrojen klorür (HCl) çözeltisinde bir gece bekletilir. Daha sonra 1 L %1'lik sodyum karbonat (Na₂CO₃) çözeltisinde yıkanır, karıştırılır ve süzülür. Filtrat toplanır ve filtratın üç katı hacminde IsPrOH ile çöktürülür. Elde edilen jel kurutulur ve öğütülür (Miksic, 2012).

Fukoidan ve Laminaran: Öğütülmüş yosuna önce pigment ve proteinlerin ayrılması için 23 °C ve 70 °C'de %85'lik etanol uygulanır. Sonra santrifüj edilir ve Watman filtre kağıdı ile vakum filtrasyon yapılarak çözücü ve pelet birbirinden ayrılır. Ayrılan pelet 70 °C'de %2'lik CaCl₂ ile muamele edilir ve santrifüjlenir. Böylece fukoidan ve laminaranın yanısıra alginatların da çökmesi sağlanır. Elde edilen peletten pH 2 ve 70 °C'de 0.01 M HCl çözeltisi ile fukoidan ayrılır ve sonra tekrar santrifüj edilir. Son olarak santrifüj sonrası elde edilen pelet alginat ekstraksiyonu için 70 °C'de %3'lük Na₂CO₃ uygulanır ve santrifüjlenir (Rioux ve ark., 2007) (Şekil 6).

Biyoplastik üretimi

Alglerden elde edilen polisakkaritler, ya Şekil 7'de gösterildiği gibi fermentasyona tabi tutularak ya da aşağıda verilen bazı örneklerde olduğu gibi tek başına veya diğer biyopolimerlerle formüle edilerek biyoplastik üretiminde kullanılabilir (Stevens, 2010; Miksic, 2012).

Sadece agardan: 3 gr agar + 240 mL gliserol solüsyonu (%1'lik) + 180 mL distile su

6 gr agar + 5 mL gliserol + 5 g Paris plasteri + 60 mL distile su

Sadece alginat: 6 gr alginat + 5 mL gliserol + 5 g Paris plasteri + 60 mL distile su

Agar-niştasta karışımı: 1,5 gr sorbitol + 3 gr agar + 3 gr niştasta + 240 mL gliserol solüsyonu + 300 mL distile su

3 gr agar + 3 gr Floridean niştasta + 5 mL gliserol + 5 g Paris plasteri + 60 mL distile su

Alginat-nişasta karışımı: 3 gr Floridean nişasta + 3 gr alginat + 5 mL gliserol + 5 gr Paris plasteri + 60mL distile su

Agar-alginat karışımı: 3 gr agar + 3 g alginat + 5 mL gliserol + 5 gr Paris plasteri + 60 mL distile su

Nişasta-agar-alginat karışımı: 2 gr Floridean nişasta + 2 gr agar + 2 gr alginat + 5 mL gliserol + 5 gr Paris plasteri+ 60 mL distile su

Biyoplastik üretiminde alglerin kullanımı üzerine yapılan alışmalar

Yenilenebilir biyomas kaynağı olarak algler yüksek bir potansiyele sahip olmalarına rağmen biyoplastik üretiminde alglerin kullanımına yönelik çok az çalışmaya rastlanılmakta, alglerin kullanımıyla ilgili alınmış sadece birkaç patent (US56564103A ve WO00/1106 ambalajlama sanayinde film ve köpük materyallerin üretiminde; WO 2007079719 dolgu maddesi üretiminde; RM2002A000592 araba lastiği yapımında) bulunmaktadır (Chiellini ve ark., 2008).

Bununla birlikte bir mikroalg türü *Spirulina platensis*'in azota sınırlı şartlarda ve asetat varlığında kuru ağırlığının yaklaşık %10'u kadar PHB sentezlediği bildirilmektedir (Jau ve ark., 2005; Chee ve ark., 2010). Yine bir diyatom türü *Phaeodactylum tricornutum* içerisine gram negatif bakteri *Ralstonia eutropha* H16 bakterisine ait 3 enzim (ketotiolaz, asetil-CoA redüktaz ve PHB sentaz) yerleştirilmiş ve diyatom sitozolünde algal kuru ağırlığın %10,6'sından daha fazla PHB'nin sentezlendiği görülmüştür (Hempel ve ark., 2011).

Sapalidis ve ark. (2007) polivinil alkol (PVA) ve *Zostera*'nın birleşiminden bir kompozit film üretmişlerdir. Bu materyalin sadece %20'sinin (optimum) *Zostera* 'dan oluşmasına rağmen mekanik ve termal özellikler bakımından saf PVA'dan daha iyi sonuç verdiğini, elde edilen bu biyokompozit materyalin ambalaj sanayinde kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

PVA ile biyokompozit materyallerin araştırıldığı bir başka çalışmada, makroalglerden "deniz marulu" olarak da bilinen *Ulva armoricana* 'nın dolgu malzemesi olarak kullanımının çok iyi sonuç verdiği ve 100 gün içerisinde %80'inden fazlasının bozunmaya uğradığı tespit edilmiştir (Chiellini ve ark., 2008).

Ayrıca Beacham (2010), alg-bazlı reçinelerin polipropilen gibi standard ticari reçinelerle karıştırılabileceğini ve enjeksiyon kalıplama ya da ısıl-şekillendirme (termoform) gibi yöntemlerle parça üretilmesinde kullanılabileceğini belirtmektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Petrol rezervlerinin azalması, yüksek petrol fiyatları ve artan sera gazlarının etkisiyle biyolojik orijinli olarak geliştirilen teknolojilerden biri olan yenilenebilir biyoplastikler, biyo-çözünür, biyo-uyumlu ve gbrelenebilir özellikleri nedeniyle evre dostu olarak tanımlanmaktadır. Diğer taraftan petrol kaynaklı veya kimyasal türevli sentetik polimerlerden üretilen plastiklerin çevresel problemlere yol açtığı bilinen bir gerçektir. Özellikle denizlerde ve okyanuslarda biriken plastikler, hidrofobik kimyasalları akümüle ettiğinden suda çok yavaş bozunmakta, dolayısıyla plastik endüstrisinin atıkları

deniz yüzeyinin kirlenmesinde başlıca etkenlerden biri olmaktadır. Bu kirleticiler aynı zamanda su yüzeyinde konsantre halde poliklor bifenil (PCB) ve diklordifenildikloretilen (DDE) içermektedir. Deniz hayvanları plastik atıklarının bir bölümünü yiyeceklerle karıştırmakta, deniz kuşlarının midelerinden sürekli olarak deniz yüzeyinde bulunan plastik atıkların çıktığı görülmektedir. Balık ve kuşların plastik granülleri yiyecek olarak tüketmeleri üzerine yapılan araştırmalarda bu canlılarda yüksek miktarda PCB bulunduğu ve üremenin olumsuz etkilendiği gösterilmiştir (Peakall, 1970; Kime, 1995; Brown ve ark., 2009). Deniz kaplumbağaları ise plastik torbaları denizaneleri ile karıştırmakta, bunların alınması mide de tıkanıklıklara neden olmakta, hayvana yalancı doygunluk hissi vererek açlıktan ölmesine neden olabilmektedir. Ayrıca yine PCB'nin deniz kaplumbağalarında doza bağlı olarak immun sisteminin olumsuz etkilendiği bildirilmektedir (Yu ve ark., 2012). Plastik balık ağlarının atılması veya kopması birçok deniz canlısı için letal etki yapmaktadır. 1982 yılında yapılan bir çalışmada yıllık olarak 50.000 denizayısının plastik balıkçı ağları nedeniyle öldüğünü göstermiştir (Allsop ve ark., 2012).

Biyoplastik üretiminde yenilenebilir doğal polisakkarit kaynağı olarak alglerin kullanılması, hem hammadde teminine hem de plastik atıklar neticesinde ortaya çıkan çevresel ve sağlık problemlerinin çözümüne yönelik olarak atılmış önemli ve ümit verici bir adım olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte biyoplastik üretiminde yüksek bir biyomas kaynağı potansiyeline sahip olan alglere rağmen, biyoplastik üretimi sentetik plastik üretimine göre daha yüksek bir maliyete sahip olmaya devam etmektedir. Bu nedenle gerek bilimsel araştırmalarda ve gerekse endüstriyel uygulamalarda alg türevli biyoplastik üretimi devlet politikası olarak ele alınmalı ve desteklenmelidir.

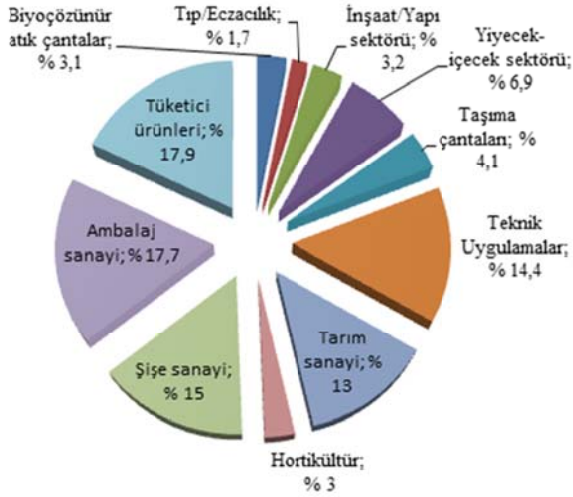
KAYNAKLAR

- Allsop, M., Walters, A., Santillo, D. and Johnston, P. 2012. Plastic debris in the World's oceans. http://www.unep.org/regionalseas/marinelitter/publications/docs/plastic_ocean_report.pdf (online erişim Temmuz 2012).
- Alves, A., Caridade S.G., Mano, J.F., Sousa, R.A., Reis, R.L. 2010. Extraction and physico-chemical characterization of a versatile biodegradable polysaccharide obtained from green algae. *Carbohydrate Research* 345: 2194–2200.
- Arasaki, S., Arasaki, T. 1983. Low calorie, high nutrition vegetables from the sea to help you look and feel better. *Japan Publications*, Tokyo, pp.196.
- Arıkan, A. 2009. Biyoplastikler. *Ambalaj Bülteni*, Ocak/Şubat, 26-32.
- Ashby, R. D., Foglia, T. A. 1998. Poly(hydroxyalkanoate) biosynthesis from triglyceride substrates. *Applied Microbiology and Biotechnology* 49: 431-437.
- Beacham, W. 2010. Algae-based bioplastics a fast-growing market. (online erişim: Mayıs 2012) <http://www.icis.com/Articles/2010/06/21/9368969/algaebased-bioplastics-a-fast-growing-market.html>
- Björkner, B., Frick-Engfeldt, M., Pontén, A. and Zimerson, E. 2011. Plastic Materials. *Contact Dermatitis*, Part 6: 695-728.
- Braunegg, G., Lefebvre, G. and Genser, K. F. 1998. Polyhydroxy alkanoates, bio polyesters from renewable resources: Physiological and engineering aspects. *Journal of Biotechnology* 65: 127–161.
- Brown, T., Sheldon, T. A., Burgess, N. M. and Reimer, K. J. 2009. Reduction of PCB contamination in an arctic coastal environment: A first step in assessing ecosystem recovery after the removal of a point source. *Environment Science and Technology* 43(20):7635-7642.
- Burtin, P. 2003. Nutritional value of seaweeds. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 2(4):498-503.

- http://ejeafche.uvigo.es/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=208
- C&EN (Chemical and Engineering News), 2006. Green chemistry is a guide for industrial biotechnology. Chemical and Engineering News 84(14). (online erişim Temmuz 2012)
<http://pubs.acs.org/cen/employment/84/8414employbox2.html>
- Chee, J. Y., Yoga, S. S., Lau, N. S., Ling, S. C., Abed, R. M. M and Sudesh, K. 2010. Bacterially produced polyhydroxyalkanoate (PHA): Converting renewable resources into bioplastics. Applied Microbiology and Microbial Biotechnology 2:1395-1404.
<http://www.formatex.info/microbiology2/1395-1404.pdf>
- Cheng-Cheng, F. 2011. Bio plastics development planning in Thailand. Invest in Taiwan. http://investtaiwan.nat.gov.tw/news/ind_news_eng_display.jsp?newsid=72 (online erişim Temmuz 2012).
- Chiellini, E., Cinelli, P., Ilieva, V. I. and Martera, M. 2008. Biodegradable hermoplastic composites based on polyvinyl alcohol and algae. Biomacromolecules 9:1007–1013.
- de Guzman, D. 2012. “NatureWorks, BioAmber form JV”. ICIS Green Chemicals blog, <http://www.icis.com/blogs/green-chemicals/2012/02/natureworks-bioamber-forms-jv.html> (online erişim Haziran 2012)
- DiGregoria, B. E. 2009. Biobased Performance Bioplastic: Mirel. Chemistry & Biology 16:1-2.
- DPT, 2006. Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Plastik Ürünler Çalışma Grubu Raporu, Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013).
http://plan9.dpt.gov.tr/oik44_kimya/44KimyaSanayii_anarapor.pdf
- Durmaz, Y., Işık, O., Bandarra, N. M., Cirik, S., Turan, G., Gökpinar, Ş., 2002. Porphyridium cruentum (Rhodophyceae) yağ asitleri kompozisyonuna kurutma yöntemlerinin etkisi. E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 19(1-2): 189 – 195.
- Ediz, N; Beyatlı, Y. 2005. *Bacillus* cinsi bakteriler tarafından biyoplastik üretimi. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi* 3 (5): 1-22. www.mikrobiyoloji.org/pdf/702050501.pdf
- Floccari, M.E., López, N. I., Méndez, B.S., Fürst, U.P., Steinbüchel, A., 1995. Isolation and partial characterization of *Bacillus megaterium* mutants deficient in poly(3-hydroxybutyrate) synthesis. Canadian Journal of Microbiology 41(13): 77-79.
- FMC, 2012. Carregeenan/Manufacturing. FMC BioPolymer.
<http://www.fmcbiopolymer.com/Food/Ingredients/Carrageenan/Manufacturing.aspx> (online erişim Haziran 2012).
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. 1997. Plastikler. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:46, Ankara, ISBN 975-8088-51-3.
- Hempel, F., Bozarth, A. S., Lindenkamp, N., Klingl, A., Zauner, S., Linne, U., Steinbüchel, A. and Maier, U. G., 2011. Microalgae as bioreactors for bioplastic production. Microbial Cell Factories 10:81.
<http://www.microbialcellfactories.com/content/10/1/81>
- Heo, S. J., Jeon, Y. J., 2009. Protective effect of fucoxanthin isolated from *Sargassum siliquastrum* on UV-B induced cell damage. Journal of Photochemistry and Photobiology B-Biology 65:101–107.
- Holdt, S. L. & Kraan, S. 2011. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. Journal of Applied Phycology 23:543–597.
- Hopewell, J., Dvorak, R. and Kosior, E. 2009. Plastics recycling: challenges and opportunities. Philosophical Transactions of The Royal Society B-Biological Sciences 364:2115-26.
- Jau, M.-H., Yewa, S.-P., Toh, P. S. Y., Chonga, A. S. C., Chub, W.-L., Phang, S.-M., Najimudin, N., Sudesh, K. 2005. Biosynthesis and mobilization of poly(3-hydroxybutyrate) [P(3HB)] by *Spirulina platensis*. International Journal of Biological Macromolecules 36: 144–151.
- Je, J-Y, Park, P. J., Kim, E. K., Park, J. S., Yoon, H. D., Kim, K. R., Ahn, C. B. 2009. Antioxidant activity of enzymatic extracts from the Brown seaweed *Undaria pinnatifida* by electron spin resonance spectroscopy. LWT- Food Science Technology 42:874–878.
- Jerez, A., Partal, P., Martínez, I., Gallegos, C. and Guerrero, A. 2007. Protein-based bioplastics: effect of thermo-mechanical processing. Rheologica Acta 46(5):711-720.
- Kime, D. E. 1995. The effects of pollution on reproduction in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 5: 52–96.
- Kumar, C. S., Ganesan, P., Suresh, P. V., Bhaskar, N. 2008. Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds—a review. Journal of Food Science Technology 45:1–13.
- Kumar, S. M. N., Mohanty, A. K., Erickson, L., Misra, M. 2009. Lignin and its applications with polymers. Journal of Biobased Materials and Bioenergy 3(1):1-24.
- Lörcks, J. 1998. Properties and applications of compostable starch-based plastic material. Polymer Degradation and Stability 59(1–3):245–249.
- Luengo, J. M., García, B., Sandoval, A., Naharro, G. and Olivera, E. R. 2003. Bioplastics from microorganisms. Current Opinion in Microbiology, 6:251–260.

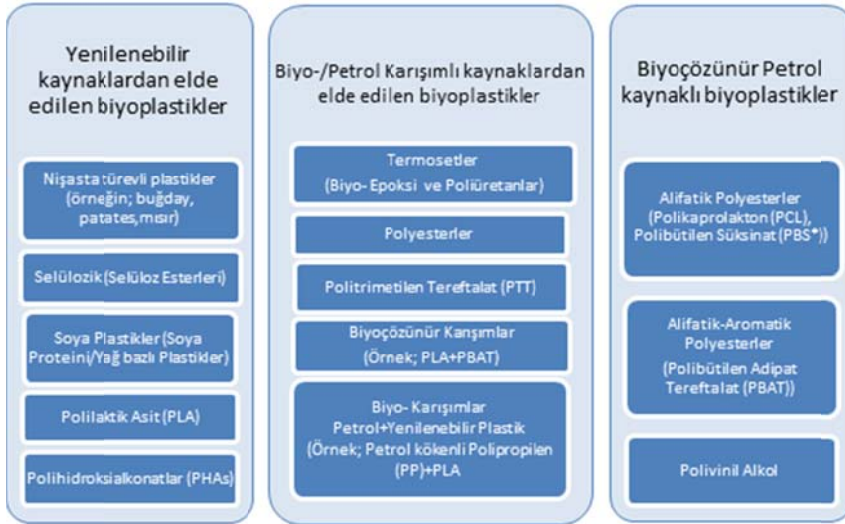
- Madison, L. L., Huisman, G.W. 1999. Metabolic engineering of poly(3-hydroxyalkanoates): from DNA to plastic. *Microbiology and Molecular Biology Reviews.*, 63(1):21-53.
- Marinho-Soriano, E., Fonseca, P .C., Carneiro, M. A. A., Moreira, W. S. C. 2006. Seasonal variation in the chemical composition of two tropical seaweeds. *Bioresour Technol* 97:2402–2406.
- Mian, A. J., & Percival, E. 1973. Carbohydrates of the brown seaweeds: *Himantalia lorea*, *Bifurcaria bifurcata* and *Padina pavonia*. *Carbohydrate Research* 26:133–146.
- Miksic, B. 2012. Effect of Extrusion Parameters on Performance Characteristics of Biodegradable Films. Doctoral Thesis. University Of Zagreb Faculty Of Mechanical Engineering And Naval Architecture, Zagreb.
- Momani, B. 2009. Assessment of the Impacts of Bioplastics: Energy usage, fossil fuel usage, pollution, health effects, effects on the food supply, and economic effects compared to petroleum based plastics. An Interactive Qualifying Project Report, Submitted to the Faculty of the Worcester Polytechnic Institute, <http://www.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-031609-205515/unrestricted/bioplastics.pdf>
- Montaño, M. N., Villanueva, R. D., Romero, J. B. 1999. Chemical characteristics and gelling properties of agar from two Philippine Gracilaria spp. (Gracilariales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 11.: 27–34.
- Morrissey, J., Kraan, S., Guiry, M. D. 2001. A guide to commercially important seaweeds on the Irish coast. Bord Iascaigh Mhara, Dublin, 66 pp.
- Murata, M., Nakazoe, J. 2001. Production and use of marine algae in Japan. *Japan Agriculture Research Q* 35:281–290.
<http://www.jircas.affrc.go.jp/english/publication/jarq/35-4/35-04-10.pdf>
- Nawrath, C., Poirier, Y. and Somerville, C. 1995. Plant polymers for biodegradable plastics: Cellulose, starch and polyhydroxyalkanoates. *Molecular Breeding* 1(2):105-122.
- Ortiz, J., Romero, N., Robert, P., Araya, J., Lopez-Hernández, J., Bozzo, C., Navarrete, E., Osorio, A., Rios, A. 2006. Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea antarctica*. *Food Chemistry* 99:98–104.
- Page, W. J., 1992. Suitability of commercial beet molasses fractions as substrates for polyhydroxyalkanoate production by *Azotobacter vinelandii* UWD, *Biotechnology. Letter* 14 (5): 385-390.
- Pei, L., Schmidt, M. and Wei, W. 2011. Conversion of Biomass into Bioplastics and Their Potential Environmental Impacts. *Biotechnology of Biopolymers*, ISBN: 978-953-307-179-4, pp. 58-74.
http://www.markusschmidt.eu/pdf/2011_InTech-Chapter3.pdf
- Peakall, D. B. 1970. Pesticides and the reproduction of birds. *Scientific American* 222:73-78.
- Prieto, M. A. 2007. From oil to bioplastics, a dream come true?. *Journal of Bacteriology* 189: 289–290.
- Reddy, M. M., Misra, M., Mohanty, A. K. 2012. Bio-based materials in the new bio-economy. American Institute of Chemical Engineering (AIChE), Chemical Engineering Proses (CEP), www.aiche.org/cep (online erişim Haziran 2012).
- Rajendran, N., Puppala, S., Sneha Raj, M., Ruth Anjeeleena B., and Rajam, C. 2012. Seaweeds can be a new source for bioplastics. *Journal of Pharmacy Research* 5(3): 1476-1479.
- Rioux, L. E., Turgeon, S. L., Beaulieu, M. 2007. Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds. *Carbohydrate Polymers* 69:530–537.
- Sapalidis, A. A., Katsaros, F. K., Romanos, G. E., Kakizis, N. K., Kanellopoulos, N. K. 2007. Preparation and characterization of novel poly-(vinyl alcohol)–*Zostera* flakes composites for packaging applications. *Composites: Part B* 38:398–404.
- Sathivel, A., Raghavendran, H. R. B., Srinivasan, P., Devaki, T. 2008. Antiperoxidative and anti-hyperlipidemic nature of *Ulva lactuca* crude polysaccharide on D-galactosamine induced hepatitis in rats. *Food Chemical Toxicology* 46:3262–3267.
- Sevilmiş, G. 2012. Ege Bölgesi Plastik Sektörü Raporu. İzmir Ticaret Odası (İZTO), Ar&Ge Bülten, İzmir.
- Shen, L., Haufe, J., Patel, M.K. 2009. Product overview and market projection of emerging bio-based plastics. Pro-Bib 2009 Final Report.
- Song, J. H., Murphy, R. J., Narayan, R. and Davies, G. B. H. 2009. Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Philosophical Transactions of The Royal Society* 364: 2127–2139.
- Souchet, N. 2004. Étude de l'influence de la période de récolte de l'algue brune *Laminaria longicruris* sur sa composition en polysaccharides bioactifs. Mémoire de maîtrise, Université Laval.
- Steinbüchel, A., Schlegel, H. G. 1991. Physiology and molecular genetics of poly (beta-hydroxy-alkanoic acid) synthesis in *Alcaligenes eutrophus*. *Molecular Microbiology* 5(3):535-542.
- Stevens, G. 2010. How to: make algae bioplastics? (online erişim Haziran 2012).
<http://green-plastics.net/discussion/54-student/84-how-to-make-algae-bioplastic>
- Suriyamongko, I. P., Weselake, R., Narine, S., Moloney, M., Shah, S. 2007. Biotechnological approaches for the production of polyhydroxyalkanoates in microorganisms and plants - a review. *Biotechnol Advances* 25(2):148-175.

- Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S. and Swan, S. H. 2009. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of The Royal Society B* 27 364(1526): 2153-2166
- Tseng, C. K. 2001. Algal biotechnology industries and research activities in China. *Journal of Applied Phycology* 13:375–380.
- USDA (U.S. Dept. of Agriculture), 2008. U.S. Biobased products market potential and projections through 2025. Office of Energy Policy and New Uses, (OCE-2008-1), (online erişim Haziran 2012).
- Verlinden, R. A. J., Hill, D. J. , Kenward, M. A. , Williams, C. D. and Radecka, I. 2007. Bacterial synthesis of biodegradable polyhydroxy alkanoates. *Journal of Applied Microbiology* 102: 1437–1449.
- Vroman, I. and Tighzert, L. 2009. Biodegradable Polymers. *Materials* 2:307-344
- Wong, K. H., Cheung, P. C. K. 2000. Nutritional evaluation of some subtropical red and green seaweeds. Part I—proximate composition, amino acid profiles and some physico-chemical properties. *Food Chemistry* 71:475–482
- Yenwo, G. M., Manson, J. A., Pulido, J., Sperling, L. H., Conde, A., Devia, N. 1977. Castor-oil-based interpenetrating polymer networks: Synthesis and characterization. *Journal of Applied Polymer Science* 21(6): 1531–1541.
- Yu, S., Halbrook, R. S., Sparling, D. W. 2012. Accumulation of polychlorinated biphenyls (PCBs) and evaluation of hematological and immunological effects of PCB exposure on Turtles. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 88(6):823-827.
- Zhang, H., Obias, V., Gonyer, K. and Dennis, D. 1994. Production of polyhydroxyalkanoates in sucrose-utilizing recombinant *Escherichia coli* and *Klebsiella* strains. *Applied and Environmental Microbiology* 60(4): 1198-1205.

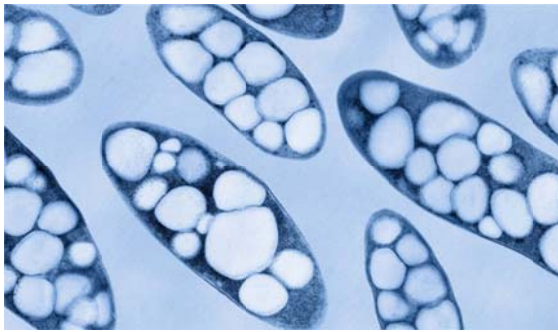


Şekil 1. 2011 Yılı itibariyle biyoplastiklerin kullanıldığı sektörler (Miksic, 2012)

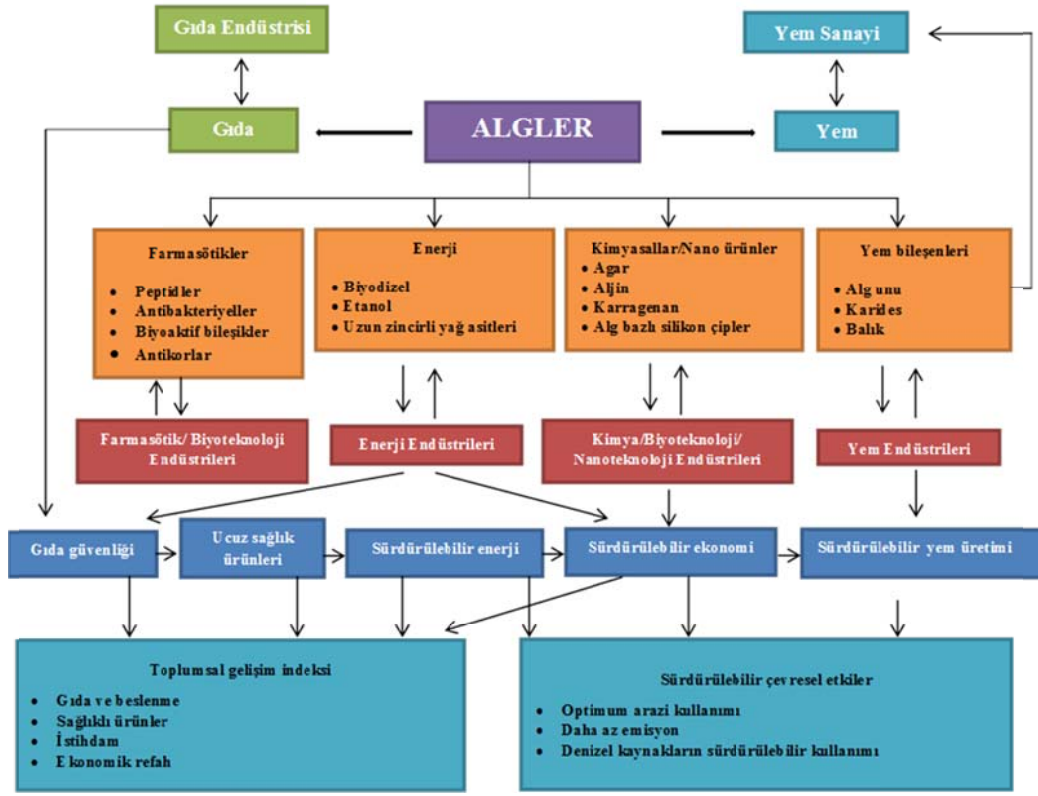
EK



Şekil 2. Biyoplastik kaynakları (Reddy ve ark., 2012). (*PBS yenilenebilir kaynaklardan türetilen yeni bir biyoplastik)

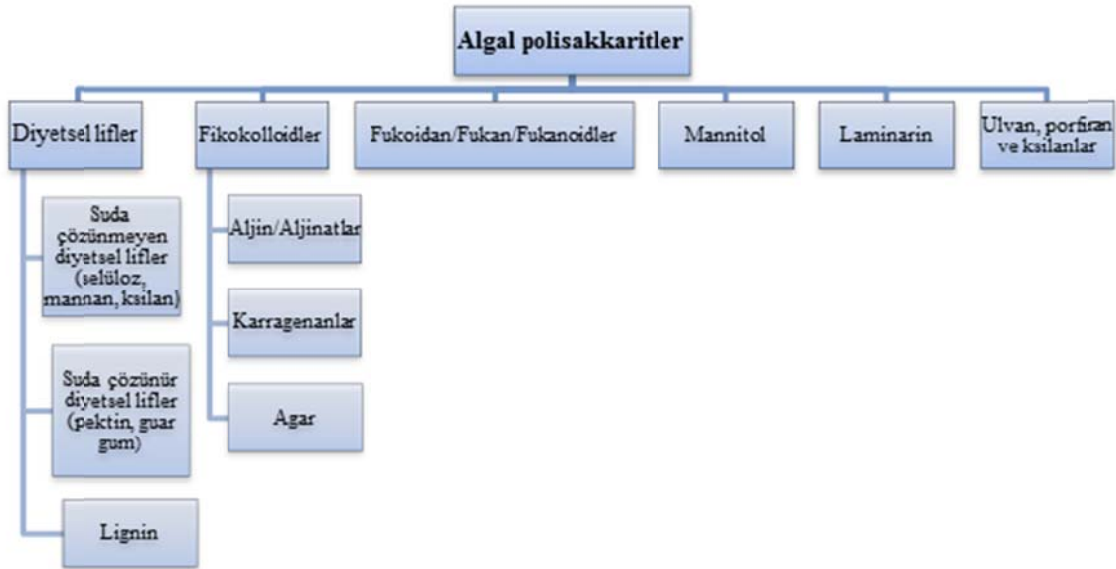


Şekil 3. Bakteri hücresi tarafından sentezlenen PHA (C&EN., 2006). (Metabolix şirketi, PHA sentezleyen bakterilerden aldıkları genleri *Escherichia coli* suşuna aktararak fermentasyon yoluyla, şekeri plastiğe dönüştürmüş ve beyaz küreler şeklinde PHA elde etmiştir)

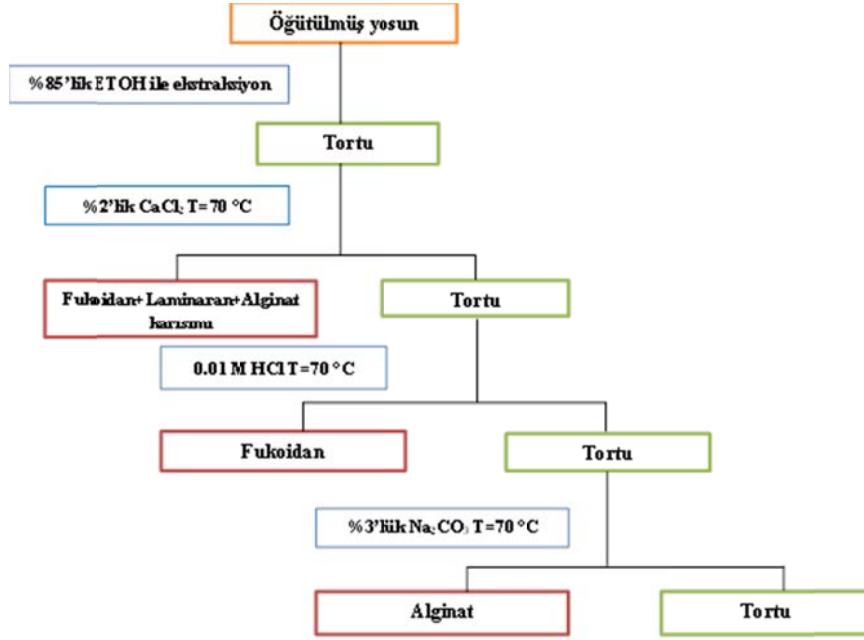


EK

Şekil 4. Alginin kullanıldığı sektörler ve yaygın etkileri

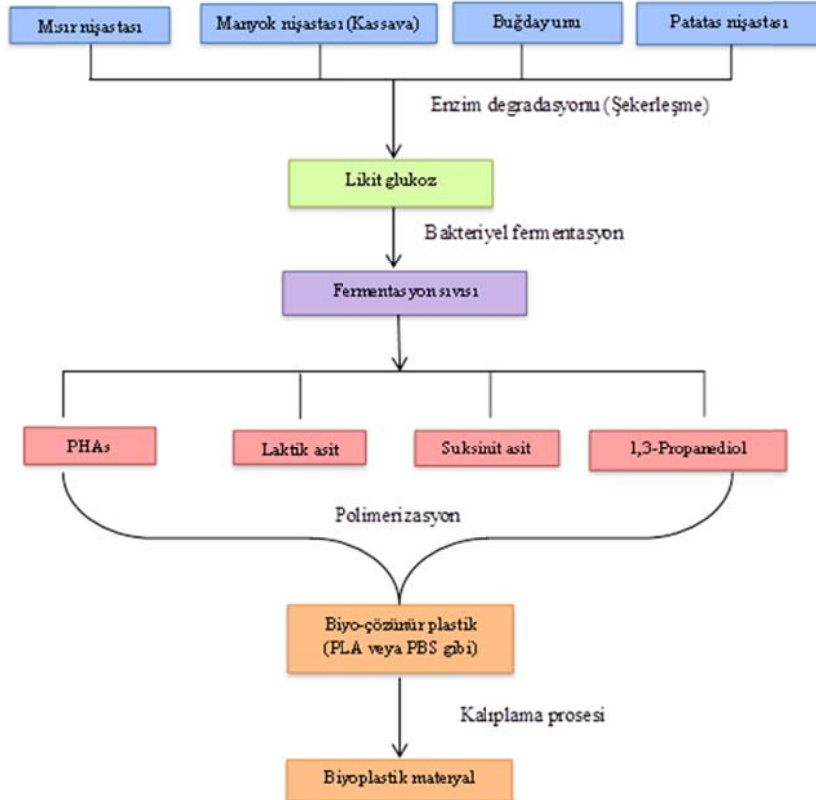


Şekil 5. Algal polisakkaritler



EK

Şekil 6. Algal polisakkaritlerin ekstraksiyonu (Rioux ve ark., 2007)



Şekil 7. Yenilenebilir bitkisel kaynaklı biyoplastik üretiminde fermentatif bir proses (Cheng-Cheng, 2011)