

Alternatif Yakıt Kaynağı Olarak Biyoetanol

Gülşah BENGİSU

Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa
e-posta: gbengisu@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received:08.10.2014 Kabul Tarihi/Accepted:06.12.2014

Öz: Gelişen dünyada yaşam standartları arttıkça kişi başına düşen enerji ihtiyacı da artış göstermektedir. Bu nedenle asıl problem petrol kullanımının nasıl azaltılacağı değil, ulaşım ve hayatın diğer alanlarında artan enerji talebinin nasıl karşılanacağıdır. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimini ön plana çıkarmış ve öncelikle gelişmiş ülkelerde olmak üzere tüm dünyada artış göstermeye başlamıştır. Son dönemde önemi artan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerji kaynaklarından üretilen biyoyakıtlar biyodizel ve biyoetanol olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada ve ülkemizde alternatif enerji kaynaklarında yaşanan olumlu gelişmelere paralel olarak biyoetanol kullanımı konusuna olan ilgi de giderek artmakta ve biyoetanolün ulaştırma sektöründe önemli bir rol oynayacağı beklenmektedir. Biyoetanol için yapılan araştırma ve geliştirme programlarını teşvik eden unsurlar; dünya petrol rezervlerinin yakın bir zamanda tükenmesi, petrole olan bağımlılığın azaltılarak enerji güvenliğinin sağlanması, küresel ısınmaya yol açan sera etkisi yapan gazların azaltılması, sürdürülebilir üretim, artan hava ve su kirliliği olarak sıralanabilir. Dünyada biyoetanol kaynağı olarak tatlı sorgum, şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, buğday ve selüloz özlü tarımsal ürünler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, biyoyakıt türlerinden biri olan biyoetanolün önemi, Dünya’da ve Türkiye’de üretimi, nelerden ve nasıl elde edildiği, kullanımı hakkında bir derleme yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyoetanol, biyokütle, yenilenebilir enerji

Bioethanol as an Alternative Fuel Source

Abstract: In the developing world, both the standards of living and energy demand per capita are increasing. Therefore the main problem is not how to reduce oil use, the main problem is how to meet the increasing energy demand on transportation and other areas of life. Then, energy production from renewable energy sources has brought to the fore and began to rise primarily in the developed countries and all over the world. Recently, one of the growing importance of renewable energy sources is biomass energy. Biofuels produced from biomass energy sources encounters as biodiesel and bioethanol. In parallel the positive developments in alternative energy sources, the interest the use of bioethanol and also increasing and bioethanol is expected to play an important role in the transport sector in the world and our country. Researchs and encouraging elements of development programs for bioethanol can be listed as; the world's oil reserves will be depleted in the near future, to ensure energy security by reducing dependence on oil, reduction of greenhouse gases that lead to global warming, sustainable production, air and water pollution. As a source of bioethanol; sweet sorghum, sugar core, sugar beet, corn, wheat and cellulose cored agricultural products are used in the world. In this study, the importance of bioethanol that is one of the types of biofuels, production in the world and Turkey, what and how it is obtained from, and collection about using were conducted.

Keywords: Bioethanol, biomass, renewable energy

1. GİRİŞ

Petrol, birçok sektör ve kullanım alanında yerini diğer enerji kaynaklarına bırakmasına karşın, ulaşım sektöründen aldığı güçle önemini korumaya devam etmektedir. Kara ulaşımında petrol tüketimi OECD ülkelerinde sürekli düşse de gelişmekte olan ülkelerde (Çin, Hindistan, Latin Amerika ülkeleri, vd.) ciddi miktarda artmakta ve bu durum deniz ve hava ulaşımında kullanılan petrol ürünlerinde de gözlenmektedir. 2009 yılında havacılık, yurt içi deniz taşımacılığı ve demir yolunu içeren ulaşım sektörünün küresel petrol tüketiminin %57’sini oluşturmakta olduğunu ve bu oranın 2035’de %60’a ulaşacağını beklenmekte olması, petrol tüketiminde ulaşım sektörünün önemini göstermektedir (Anonim, 2013).

İnsanoğlunun gereksinimlerinin karşılanmasında ve gelişmesinin sağlıklı olarak sürdürülmesinde gerekli olan en temel unsurlardan birisi olan enerji; kesintisiz, güvenilir temiz ve ucuz yollardan bulunmalı ve bu enerji kaynakları da mutlaka çeşitlendirilmelidir. Yalnız enerji kaynağı teminini ve enerji üretimini temel alan planlamanın yerini gelişmiş toplumlarda enerji-ekonomi-ekoloji dengesini özenle gözetilen planlama anlayışı ile, kaynak çeşitliliğini ve jeopolitik gerçekleri dikkate alan enerji güvenliği modelleri almaya başlamıştır (Bulut, 2006).

Dünya enerji arzı için konvansiyonel enerji kaynaklarının; ham petrol, kömür ve doğal gaz gibi doğaları gereği yakın bir gelecekte küresel enerji talebini karşılamakta yetersiz kalacağı birçok bilim adamı tarafından kabul edilmektedir (Shafiee and Topal, 2009, Almodares and Hadi, 2009, Demirbaş, 2008). Ayrıca petrol ve diğer fosil kaynaklı yakıtlar hem üretimleri hem kullanımları sırasında çevreye ve insan sağlığına ciddi zararlar vermekte, küresel ısınma gibi birçok problemi de beraberinde getirmektedir. Bu durum bilim adamlarını ve hükümetleri yenilenebilir enerji kaynakları arayışına yöneltmiştir.

Bu çerçevede, pek çok bilim adamı tarafından 21. yüzyılın sonuna kadar, fosil kaynaklı enerji kaynaklarının yerini rüzgar, güneş, hidrojen ve biyoyakıtlar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının alması öngörülmektedir. Bu değişik alternatif enerji kaynakları içerisinde biyoyakıtlar üretimlerinin kolay, bilinir ve teknolojik açıdan oturmuş olması sebebiyle ön plana çıkmaktadır (Gross ve ark., 2003). Biyoyakıtlar çok geniş bir yelpazede olup bu yakıtlar içerisinde biyoetanol, biyometanol, biyodizel, biyogaz ve biyohidrojen en önemli olanlarıdır (Demirbaş, 2007). Biyoyakıtların içerisinde biyoetanolin, benzine eşdeğer yapıda olduğu için, enerji ve taşımacılık pazarından en büyük payı alacağı tahmin edilmektedir (Demirbaş, 2009).

Biyoyakıtlar

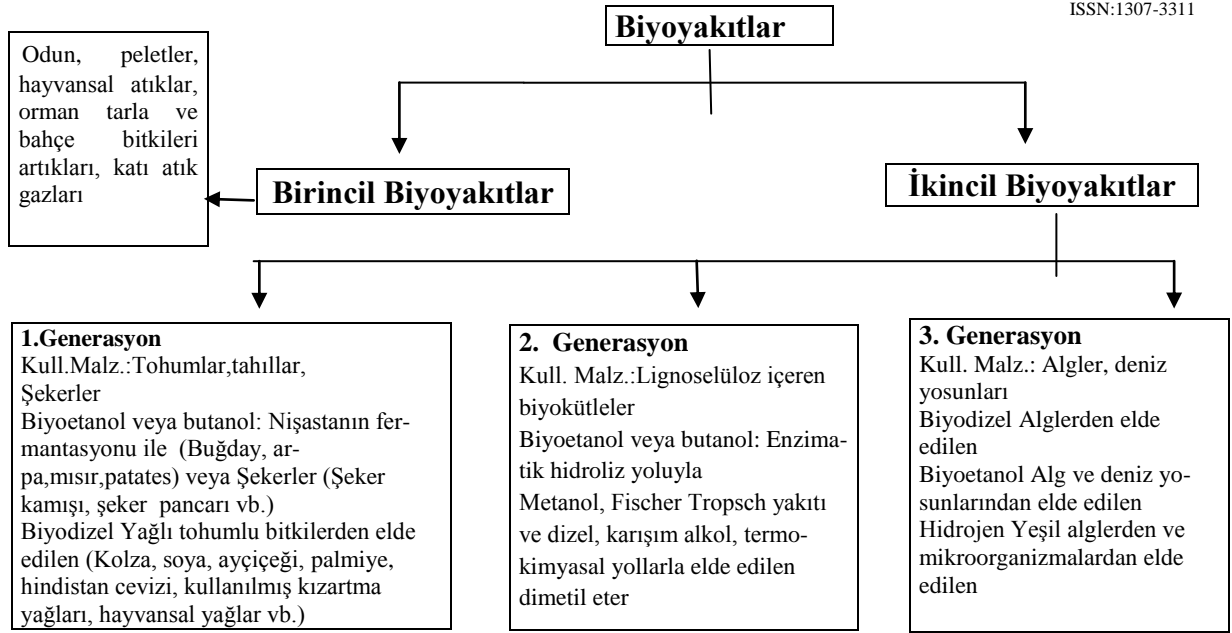
Yüzyıllardır ısınma ve yemek pişirme amaçlı kullanılan kaynaklar, günümüz dünyasında biyokütle adını almış ve kendi içerisinde bile değişik sınıflandırmalara konu olmuştur. Biyokütle kaynakları ile ilgili değişik sınıflandırmalar ve tanımlamalar yapılmakla birlikte, basit olarak ısınma ve pişirme amaçlı olarak odun ile bitki ve hayvan artıklarının kullanıldığı kaynaklar olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte, modern biyokütle kaynakları arasında; enerji ormancılığı ürünleri ile orman ve ağaç ürünleri atıkları, enerji tarımı (bitkileri), tarım kesimindeki bitkisel ve hayvansal atıklar, kentsel atıklar, tarıma dayalı endüstri atıkları yer almaktadır (Sabancı ve ark., 2010).

Biyokütleden elde edilen enerjiye de biyokütle enerjisi denilmektedir. Biyokütleden; fiziksel süreçler (boyut küçültme-kırma ve öğütme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon ve biriktirme) ve kimyasal dönüşüm süreçleri (biyokimyasal ve termokimyasal süreçler) ile katı, sıvı ve gaz yakıt elde edilmektedir (Anonim, 2012). Biyoyakıtlar kaynaklarına ve tiplerine göre değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Biyoyakıtlar; birincil (işlenmemiş) ve ikincil (işlenmiş) biyoyakıtlar olmak üzere iki temel sınıfa ayrılırlar.

- Birincil biyoyakıtlar; yakacak odun, odun talaşı ve parçaları, doğal haliyle kullanılan organik materyaller (hasat sonrası).
- İkincil biyoyakıtlar; katı (odun kömürü, biyopelet), sıvı (biyodizel, biyoetanol) ve gaz (biyogaz, biyohidrojen) olarak sınıflandırılabilir (Sabancı, 2010).

Günümüzde biyoyakıtlara olan ilgi gün geçtikçe artış göstermektedir. Bu artışın nedenleri şöyle sıralanabilir;

- Fosil kaynaklı yakıtların neden olduğu çevre kirliliği ve sera etkisi yapan gaz emisyonlarını azaltmak,
- Enerji de dışa bağımlılığı azaltmak ve enerji güvenliğini sağlamak,
- Üretim ve çevirim teknolojilerinin iyi bilinmesi,
- Sürdürülebilir üretim.



Şekil 1. Biyoyakıtların sınıflandırılması. (Nigam and Singh, 2011)

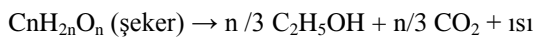
Biyoeetanol

Etanol (etil alkol), etilenin hidrasyonu sonucu sentetik olarak, şekerin başta maya (*Saccharomyces cerevisiae*) olmak üzere bazı mikroorganizmalar tarafından fermente edilmesi ile de biyolojik olarak elde edilen bir alkoldür (Anonim, 2014b). Etanol petrokimyasal (Turov, 1965), biyoetanol ise biyolojik kaynaklardan mayalanma (*Saccharomyces cerevisiae*) yolu ile üretilen etanole verilen isimlerdir (Demirbaş, 2008, Jhonston, 2008). Biyoetanol berrak, renksiz, yanıcı ve oksijenlenmiş bir hidrokarbondur. Molekül ağırlığı 46,07 g/mol, yoğunluğu 0,789 g/cm³, erime noktası -114 °C ve kaynama noktası 78 °C olan bir sıvıdır (Anonim, 2014a). Etanol ve biyoetanol kimyasal olarak aynı formüle sahiptir (C₂H₅OH).

Etanol fermentasyonu, üzerinde en çok çalışılan biyoteknolojik uygulamalardan biridir ve antik devirlerde ve hatta ilk kültür çağlarında bile insanların dikkatini çekmiştir. Bu olayın içeriği ilk olarak Lavoisier'in 18. yüzyılın sonlarına doğru, şekerin fermentasyonu sırasında etanol ve karbondioksitin oluştuğunu ve Gay-Lussac'ın (1815) ilk defa C₆H₁₂O₆ → 2C₂H₅OH + 2CO₂ şeklindeki fermentasyon formülünü ortaya koyması ile anlaşılmağa başlanmıştır (Anonim, 2014b).

Biyoetanol yeni bir kavram gibi anlaşılrsa da ilk olarak 1897 yılında Nikolas Otto tarafında icat edilen içten yanmalı motorda kullanılmaya başlanmış, daha sonraları benzin-biyoetanol karışımı şeklinde benzine ihtiyaç duyan tüm araç ve motorlarda başarıyla kullanılmıştır. 1930'lu yıllardan sonra düşük kâr nedeniyle kullanımı azalmış, ancak 1970'lerde patlak veren petrol krizi biyoetanolün yeniden alternatif yakıt olarak kullanılmasını sağlamıştır (Balat ve ark., 2008).

Biyoetanol üretimi için kullanılan hammaddeler çok çeşitli olmakla beraber bu hammaddelerin kaynağı temel olarak biyokütledir. Biyoetanol, biyokütleden kullanılabilir karbonhidratların fermentasyonu ile üretilir. Biyokütle içindeki basit şekerler aşağıdaki tepkime yoluyla biyoetanol ve karbondioksit dönüştürülür (Adıgüzel, 2011).



Teorik olarak 1 kg glikozdan 0,51 kg biyoetanol ve 0,49 kg karbondioksit üretilebilir. Ancak pratikte kullanılan mikroorganizmalar glikozun %100'ünü kullanamazlar (Demirbaş, 2005).

Tüm karbonhidrat molekülleri biyoetanol üretiminde kullanılabilir. Fakat bugün daha çok primer kaynaklar olarak adlandırılan şeker, nişasta, selüloz ve hemiselülozun kullanımı

yaygındır (Adıgüzel, 2011). Biyoetanol üretimi için kullanılan hammaddeler üç grupta toplanabilir; (a) Sükroz içeren hammaddeler (şeker pancarı, şeker kamışı, tatlı sorgum, meyveler), (b) nişasta içeren hammaddeler (mısır, arpa, buğday, patates), (c) lignoselülozik hammaddeler (odun, saman, çimen). Günümüzde üretilen biyoetanolün büyük kısmı şeker içerikli ve nişasta içerikli hammaddelerden üretilmektedir. Lignoselülozik hammaddelerden biyoetanol üretim süreci tam olarak oturtulamamıştır (Balat ve ark., 2008).

Tablo 1. Farklı hammaddelerin biyoetanol potansiyelleri. (Nigam and Agarwal, 2004)

Bitkisel Kaynak	Biyoetanol üretim potansiyeli (lt/ton)
Şeker kamışı	70
Şeker pancarı	110
Tatlı Patates	125
Patates	110
Casava	180
Mısır	360
Çeltik	430
Arpa	250
Buğday	340
Tatlı sorgum	60
Posa ve diğer selülozik biyokütleler	280

Genel olarak tarımsal ürünlerden biyoetanol üretim süreci dört adımdan oluşmaktadır;

- Hammaddeden bir şeker çözeltisi elde etmek,
- Maya veya bakteri yardımı ile şekerin biyoetanol ve karbondioksite dönüştürülmesi,
- Biyoetanolün fermantasyon çözeltisinden damıtılması,
- Biyoetanolün dehidrasyonu (Bulut, 2006).

Biyoetanol tek başına kullanılabildiği gibi benzine istenilen oranlarda karıştırılabilir. En yaygın kullanım şekli E-10 (%10 biyoetanol, %90 benzin) ve E-85 (%85 biyoetanol, %15 benzin)'dir.

Biyoetanol yüksek oktan sayısına sahiptir. Petrol ürünlerinin tüketimini azaltmak, yakıtın oktan sayısını artırmak ve karbon emisyonunu azaltmak amacıyla benzine farklı oranlarda karıştırılabilmektedir. Yakıtlara oktan artırmak amacı ile katılan benzen, metil tersiyer butil eter (MTBE) ve kurşun gibi toksik ve kanserojen etkileri olan kimyasal maddelerin kullanımını ortadan kaldırır. Donmayı engeller, motorun daha serin ve enjektörlerin daha temiz kalmasını sağlar. Benzinin oksijen miktarını artırma özelliği sayesinde ekzos emisyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. C nötr olarak kabul edilir. Bu da biyoetanol üretiminin arkasındaki temel dayanaklardan biridir. Biyoetanol ayrıca, hidrojen üretiminde, küçük ev aletlerinde, etilen üretiminde de kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Ulaştırma Sektörü

- Benzin ile karıştırılarak
- Dizel motorlarda katkı maddesi olarak
- Son teknolojik araçlarda (hibrid, yakıt hücreli)
- Tarım makinelerinde

Kojenerasyon Ünitelerinde

- Fosil yakıtlı tesislerdeki NO_x emisyonlarının azaltılması
- CO₂ ticareti için
- Buhar enjeksiyonlu gaz türbinlerinde
- Kombine çevrimli güç santrallerinde
- Dizel güç jeneratörlerinde
- Küçük kojenerasyon (veya soğutma) Stirling sistemleri
- Suyun tuzluluğunun giderilmesinde (1 ton etanolla 600- 100 m³ su tuzdan ayrıştırılabilir)

Kimyasal Ürün Sektörü

- Etilen, Hidrojen, Glikol eterler, Etil akrilat, Asetik asit, Etil asetat, Aset aldehit, Etil eter Etil+klörür üretiminde kullanılmaktadır

Biyoeanolun elde edileceği hammaddeler ana başlık olarak 3 grupta toplanabilir.

1. Şeker içerikli kaynaklardan biyoeanol üretimi (Şeker pancarı, şeker kamışı, tatlı sorgum ve meyveler)
2. Nişasta içerikli kaynaklardan biyoeanol üretimi (Mısır, buğday, çeltik, patates, ca-sava, tatlı patates ve arpa)
3. Lignoselülozik kaynaklardan biyoeanol üretimi (orman artıkları, tarla ürünü artıkları (Smith, 2008))

1. Şeker içerikli kaynaklardan biyoeanol üretimi

Şeker pancarı, şeker kamışı ve tatlı sorgum gibi yüksek oranda şeker içeren bitkiler kullanılır. Şeker endüstrisinin yan ürünü olan melas %45-50 civarında fermente edilebilir şeker içermektedir (Prasad ve ark., 2007). Biyokütlesinde şeker içeren bitkilerden doğrudan fermente edilerek biyoeanol üretimi, kompleks olmayan en eski yöntemdir (Verma ve ark., 2000, Singh ve ark., 1995). Şeker içeren hammaddelerden biyoeanol üretilebilmesi için öncelikle hammaddenin içerisindeki şekerin ortaya çıkarılması gerekir. Doğrudan şeker içeren ürünlerde fermantasyona hazırlık; ürünün ezilmesi, ıslatılması, kimyasal işleme şekerin açığa çıkarılması şeklindedir. Elde edilen şeker daha sonra maya veya bakteriler tarafından fermantasyona uğratılır. Fermantasyon çözeltisi ise içerisindeki biyoeanol istenilen konsantrasyona gelinceye kadar damıtılır. Son olarak dehidrasyon işlemi ile biyoeanol içindeki su uzaklaştırılmaktadır (Bulut, 2006).

Monosakkaritlerden alkol üretimi için kullanılan temel maya türü *Saccharomyces cerevisiae*'dir. Bununla birlikte endüstriyel anlamda çok yaygınlaşmamış olsa da kullanılabilen başka bir maya türü de *Schizosaccharomyces pombe*'dir. *Saccharomyces cerevisiae*'nin biyoeanol üretiminde tercih edilme nedenleri; yüksek etanol fermantasyon hızı, güçlü invertaz üretimi, melastaki inhibitör bileşenlerine yüksek tolerans, kolay çoğalma ve kolay korunabilir olmasıdır (Anonim, 2014e). Optimum mayalanma şartları maya hücrelerinin yaşama şartları ile belirlenir. Optimum mayalanma sıcaklığı 20-30 °C arasındadır. Alkol fermantasyonu etil alkol oranı %10-18 arasında olduğu zaman durmaktadır. Büyük konsantrasyonlardaki etanol, metabolizmanın artık ürünü olarak şeker içerikli ürünlerin içerdiği yüksek su ve şeker miktarı çabuk bozulmalarına zemin hazırlar (Bulut, 2006). Depolama için iyi hazırlanmış altyapıya ve işgücüne ihtiyaç vardır. . Depolama giderlerinin yüksek oluşu ve yüksek şeker içeriklerinden dolayı hasattan hemen sonra biyoeanole dönüştürülmesi gerekmektedir.

2. Nişasta içerikli kaynaklardan biyoeanol üretimi

Mısır, buğday, arpa ve sorgum gibi ürünler olup direk şeker içermeyen, şekerin bir formu olan nişasta içeren ürünler bu grupta yer almaktadır (Meral ve Saydan Kanberoglu, 2012). Nişasta içeren ürünlerde altı karbonlu şeker birimleri birbirlerine uzun ve dallanmış zincir-

ler şeklinde bağlanmışlardır. Mikroorganizmalar (maya ve bakteriler) bu zincirleri parçalamaz. Nişastadan biyoetanol üretilebilmesi için öncelikle mikroorganizmaların kullanılabileceği glikoz şurubu elde edilmelidir. Bunun için öncelikle nişasta zincirlerinin bir veya iki grup şeklinde altı karbonlu şeker birimlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Nişastanın bu dönüştürülme süreci basit bir süreçtir, nişasta arasındaki bağlar ısı ve enzim yardımı ile veya hafif bir asit çözeltisi yardımı ile koparılabilir (Bulut 86). Nişasta sakarifikasyonu için öncelikle ısı işlem uygulanarak nişasta jelatinizasyonu sağlanmakta, jelatinize nişasta da α -amilaz tarafından parçalanarak sıvılaştırma sağlanmaktadır. Bu ortama glikoamilaz eklenerek fermente edilebilir şekerler açığa çıkarılmaktadır (Aggarwal ve ark. 2001). Daha sonra fermantasyon (bakteri veya maya) ile şeker etanol ve CO₂'e dönüştürülür, distilasyon ile biyoetanol fermantasyon ortamındaki diğer bileşenlerden ayrılır ve son olarak da dehidrasyon uygulaması ile biyoetanolda bulunan su uzaklaştırılır (Bayrakçı, 2009).

Nişasta temelli materyalin dönüşümü sırasında maliyeti arttıran iki temel etmen bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, *Saccharomyces cerevisiae* mayasının nişasta materyallerinde kullanılmamasından dolayı fermantasyondan önce birçok amilolitik enzimin (glukoamilaz ve α amilaz gibi) prosese ilavesidir. İkincisi ise yüksek ürün elde etmek için nişasta materyallerinin 413-453 K gibi yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasıdır (Adıgüzel, 2011, 35).

3. Lignoselülozik kaynaklardan biyoetanol üretimi

Lignoselülozik materyaller gıda olarak kullanılmaya müsait olmayan, orman atıkları, tarımsal atıklar, kentsel katı atıklar ve son zamanlarda tarımı yaygınlaşan enerji bitkileri gibi selülozik materyallerdir. İçeriğinde temel polisakkarit olarak selüloz, hemiselüloz, fenolik bir polimer olan ve aynı zamanda bitkiye yapısal sağlamlık kazandıran ligninin olduğu bilinmektedir (Adıgüzel, Sluiter ve ark., 2010). Bitki materyalleri her bir kimyasal bileşikten değişik oranlarda içermektedir.

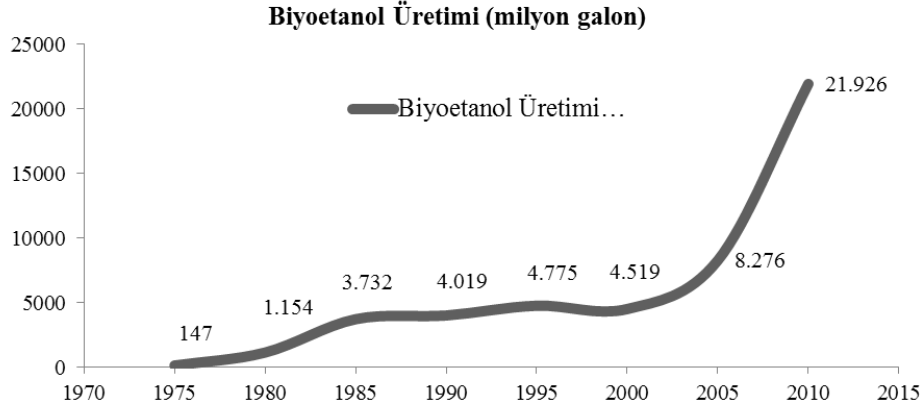
Bu materyallerin biyoetanole dönüşümü için ön işleme tabi tutulması gerekmektedir. Ön-muamele teknolojilerinin temel amacı, hidroliz işlemi için yapısal ve içeriksel engelleyicileri biyokütleden ayırmak ve böylece enzim hidroliz oranını ve selüloz ya da hemiselülozdan fermente edilebilir şeker oluşumu miktarını arttırmaktır. Bu metodlar bu amacı başarmak için bitki biyokütlesinde fiziksel ve kimyasal değişiklikler gerçekleştirirler. Ön-muamele işlemi selülozun biyolojik dönüşümü açısından önemli bir teknolojidir. Ön-muamele işleminin temel amacı selülozik materyali yapısal olarak değiştirerek karbonhidrat polimerlerini fermente edilebilir şekerlere dönüştürebilen enzimlerin selüloza ulaşmasını kolaylaştırır. Ön muamele işlemindeki temel amaç hammaddenin gözenekli yapısını arttırmak, lignin ve selülozu uzaklaştırmak, selülozun kristalinitesini azaltmak ve kristalleşmiş selülozun yapısını bozmaktır. (Sun and Cheng, 2002 Adıgüzel, 2011).

Kullanılacak ön işlem metodu şu beklentileri karşılamalıdır.

- Enzimatik hidroliz fermente edilebilir şeker oluşumunu artırmalı,
- Karbonhidratların bozulmasına veya kaybına neden olmamalı,
- Hidroliz ve fermantasyon aşamalarını engelleyecek yan ürün oluşturmamalı,
- Maliyeti uygun olmalıdır (Sun and Cheng, 2002).

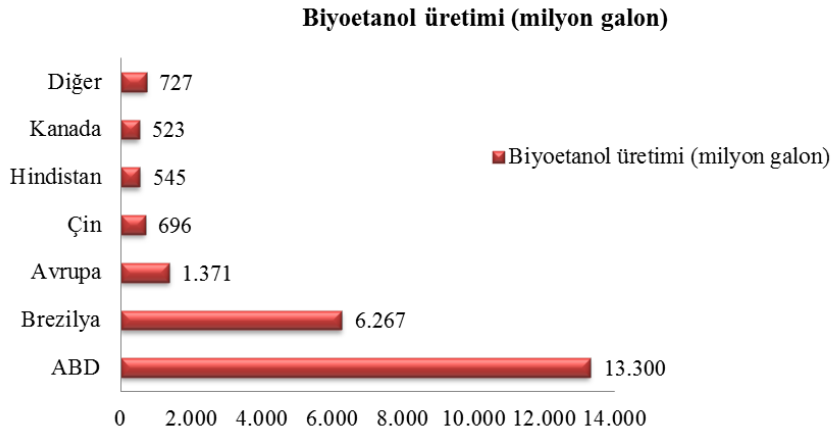
Dünya ve Türkiye Biyoetanol Üretimi

Dünya geneline baktığımızda, sürekli artan enerji talebi sonucunda, küresel biyoetanol üretimi yaklaşık 22 milyon galono ulaşmıştır (Anonim, 2014c). Tablo 1.'de 1975-2010 yılları arası dünya biyoetanol üretimine bakıldığında 2000-2005 yılları arasında %100'lük bir artış görülürken 2005-2010 yılları arasında ise üretimin nerdeyse üç kat arttığı görülmektedir.

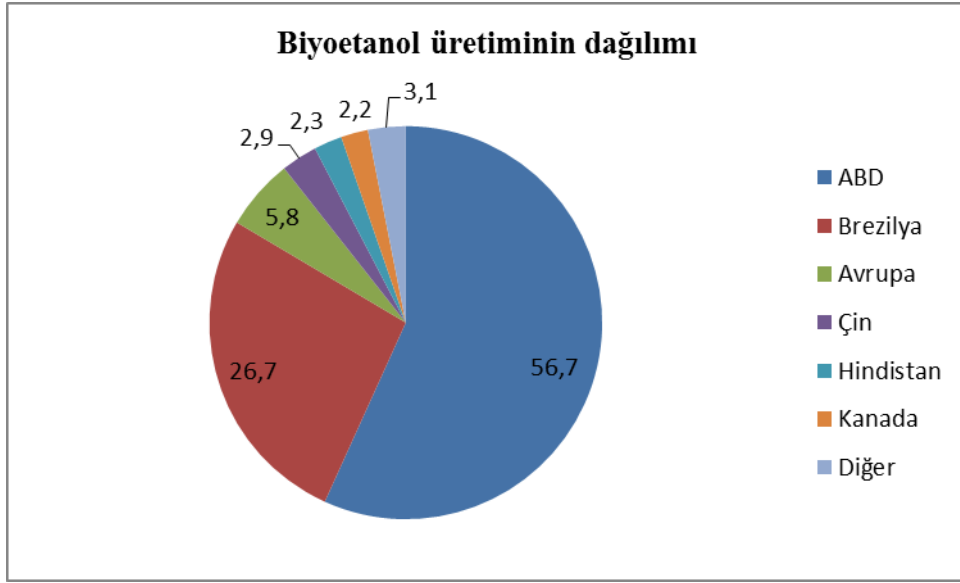


Grafik 1. Dünyaki biyoetanol üretimi (1975-2010), (Anonim, 2014c)

Ülkelerin sahip oldukları tarımsal hammaddeler ve diğer kullanılabilir hammadde kaynakları biyoyakıt üretimlerini önemli ölçüde etkilemektedir (Sabancı ve ark., 2010). Dünyadaki en büyük biyoetanol üreticisi ülkeler Tablo 2.'de verilmiştir. Dünyadaki biyoetanol üretiminde lider konumda olan ABD, biyoetanol üretiminde hammadde olarak mısırı kullanmaktadır. ABD'den sonar gelen Brezilya'da şeker kamışı, Avrupa'da ise buğday biyoetanol üretiminde kullanılan temel hammaddelerdir (Melikoğlu ve Albostan, 2011). ABD'nin dünya biyoetanol üretimindeki payı % 56,7 ile birinci sırayı alırken, Brezilya %26,7 ile ikinci sırada yer almaktadır.



Grafik 2. Dünyadaki Biyoetanol Üreticisi Ülkeler ve Biyoetanol Üretimleri, 2012 (Anonim, 2014d)



Grafik 3. Dünyadaki ülkelerin biyoetanol üretme oranları

Türkiye'nin biyoetanol üretim kapasitesi 203 milyon litre/yıl'dır. Türkiye'de, tarımsal hammadde kullanılarak, biyoetanol üretimi dört büyük işletme tarafından gerçekleştirilmektedir. Konya Şeker Sanayi 2007 yılında Çumra'da 84.000.000 l/yıl kapasiteli Biyoetanol Fabrikası'nı faaliyete geçirmiştir (Anonim, 2014e). Türkiye Şeker Fabrikaları Anonim Şirketi'ne bağlı 4 alkol fabrikası vardır. Bunlar Eskişehir, Turhal, Malatya ve Erzurum Alkol Fabrikalarıdır (Anonim, 2014f). Bu tesislerde hammadde olarak şeker pancarı melası kullanılmaktadır (Anonim, 2014e, Anonim, 2014f). Bu tesislerin dışında mısır ve buğday kullanarak biyoetanol üreten iki kuruluş daha vardır. Bunlardan ilki 2004 yılında Bursa'da üretime başlayan Tarkim ikincisi ise 2008 yılında Adana faaliyete geçen Tez-kim'dir (Anonim, 2014g, Anonim, 2014h). Türkiyenin yıllık benzin tüketimi ortalama 4.2 milyar litredir. 1 litre benzine eşdeğer enerji 1.65 litre biyoetanolda vardır. Bu şartlarda Türkiye'nin yıllık benzin tüketiminin tamamını karşılamak için 6.9 milyar litre biyoetanol gerekmektedir (Melikoğlu ve Albostan, 2011). E5 (%5,75 biyoetanol içeren benzin) üretimi için 240 milyon litre, E10 (%10 biyoetanol içeren benzin) üretimi için ise yaklaşık 420 milyon litre biyoetanole ihtiyaç vardır (Anonim, 2013b). Bu durumda Türkiye'nin biyoetanol üretimi E5 (%5.75) karışım oranı için gerekli olan oranın bile altındadır. Bu da gösteriyorki bu konuda ciddi adımlar atılmalı ve alternatif enerji kaynaklarına gerekli önem verilmelidir.

Biyoyakıtların desteklenmesi 2003/30/EC nolu ve 8 Mayıs 2003 tarihli "Taşıtlarda Kullanılacak Biyoyakıtlar ve Diğer Yenilenebilir Yakıtlar" adlı Avrupa Birliği yönergesi ile onanmıştır. Bu yönerge ile ilk defa bütün üye ülkelere yenilenebilir yakıtların kullanımı konusunda zorunluluk getirilmiştir. Türkiye'de Avrupa Birliği'ne aday ülke olduğu için alınan bu kararlara uymak durumundadır. Bu nedenle Türkiye'de de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) aldığı karar ile 2013 yılından itibaren benzine her yıl artan oranlarda yerli tarım ürünlerinden üretilen biyoetanol ilave zorunluluğu getirilmiştir. Bu şartlar altında Türkiye'nin ürettiği biyoetanol miktarı benzine katkı olarak %5.75 (E5) eklenmesi gereken biyoetanolün altındadır.

2. SONUÇ ve ÖNERİLER

Türkiye, iklim ve toprak yapısı bakımından biyoyakıtlar üretimi konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyelin hayata geçirilmesi ve sürdürülebilir olması için organize bir planlamaya ve sistematik bir araştırma misyonuna ihtiyaç vardır.

Ülke olarak biyoyakıt sektörünün geliştirilmesi için ön koşulların başında programlı bir tarım politikası gelmektedir. Bu politikalar kurak veya tarım dışı kalmış toprakların değerlendirilmesini içerirken, tarım topraklarının korunmasını da kapsamalıdır. Bu alanlarda biyoetanol üretimi yapılabilecek şeker ve nişasta içerikli bitkilerin yetiştirilmesi-

teşvik edilmelidir. Elbette ki beslenme ve fiyat istikrarını bozmayacak planlama hayati öneme sahiptir. Havza bazlı tarımsal planlama programları, kaynakların daha verimli ve rasyonel kullanımı için önemli bir araç olabilir.

Türkiye için ulusal bir biyoyakıt politikasının belirlenmesi gelecek on yıllar için büyük önem arz etmektedir. Bu politikanın en hassas noktasını uygun bitki desenlerinin verim alınabilecek bölge veya havzalarda teşvik edilmesidir.

Kurulu olan şeker fabrikaları özellikle biyoetanol üretiminde hammadde ve teknoloji bakımından gelişmiş bir altyapıya sahiptir. Yapılacak yasal düzenlemelerle biyoetanol üretimi kullanımı özendirilmeli ve yeni vergi düzenlemeleri teşvik edici olmalıdır. Sonuç olarak, iyi organize edilmiş bütün aşamaları çok iyi planlanmış biyoetanol politikasıyla Türkiye bölgesinde lider biyoyakıt üreten ülke olması çok uzak bir ihtimal değildir.

KAYNAKLAR

- Adigüzel, A., O., 2011. Lignoselülozik Biyokütleden Biyoetanol Üretimi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Semineri, 72 s.
- Aggarwal, N.K., Nigam, P., Singh, D., Yadav, B.S., 2001. Process optimization for the production of sugar for the bioethanol industry from sorghum, a non-conventional source of starch. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 17: 411-415.
- Almodares, A. and Hadi, M.R., 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 4 (9): 772 - 780.
- Anonim, 2012. Batı Akdeniz Kalkınma Ajansı, Biyokütle Sektör Raporu. 13 s. Erişim: 26.11.2013, <http://www.baka.org.tr/uploads/1349952570BiYOKUTLE-SEKTOR-RAPORU-11EYLUL.pdf>
- Anonim, 2013. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Petrol Piyasası Sektör Raporu (2012). http://www.epdk.gov.tr/documents/petrol/rapor_yayin/Ppd_Rapor_Yayin_Sektor_Raporu_2012.pdf, Erişim: 25.10.2013
- Anonim, 2014A. <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyoetanol.aspx> Erişim:07.08.2014
- Anonim, 2014B. H., TOSUN, <http://www2.bayar.edu.tr/muhendislik/gida/docs/databank/unite9.pdf> Erişim: 08.07.2014.
- Anonim, 2014C. http://www.earth-policy.org/datacenter/pdf/book_wote_energy_biofuels.pdf Erişim:08.08.2014
- Anonim, 2014D. <http://ethanolrfa.org/pages/World-Fuel-EthanolProduction> Erişim:08.08.2014
- Anonim, 2014E. http://makinecim.com/bilgi_5357_Fermantasyon-ile-Biyoetanol-eldesi. Erişim Tarihi: 21.10.2014
- Balat, M., Balat, H., Öz, C., 2008. Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34: 551-573.
- Bayrakçı, A.G., 2009. Değişik biyokütle kaynaklarından biyoetanolün elde edilmesi üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), İzmir.
- Bulut, B. 2006. Tarıma dayalı alternatif yakıt kaynaklarından biyoetanol ve Türkiye için en uygun biyoetanol hammaddesi seçimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek lisans tezi. 122 s.
- Demirbaş, A., 2005. Bioethanol from cellulosic materials: a renewable motor fuel from biomass. *Energy Sources Part A* 2005;27:327-37.
- Demirbaş, A., 2007. Progress and recent trends in biofuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33: 1-18.
- Demirbaş, A., 2008. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, 49: 2106-2116.
- Demirbaş, A., 2009. Biofuels securing the planet's future energy needs. *Energy Conversion and Management*, 50: 2239-2249.
- Gross, R., Leach, M., Bauen, A., 2003. Progress in renewable energy. *Environment International*, 29: 105-122.
- Johnston J. New world for biofuels. *Energy Law* 2008;86:10e4.
- Melikoğlu, M., Albostan, A., 2011. Türkiye'de biyoetanol üretimi ve potansiyeli. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (1) : 151-160.
- Meral, R., Saydan Kanberoğlu, G., 2012. Tahıllardan etanol üretimi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(3):61-68.

- Nigam, R.B., and P.K. Agrawal. 2004. "Ethanol Manufacturer from Cane Juice and Molasses: A Diversification for Sugar Industry in India". Proceedings of the international conference on Biofuels: Perspective & Prospects, Winrock International, India. 16-17, September.
- Nigam, S.P and Singh, A. 2010. Production of liquid biofuels from renewable resources. Progress in Energy and Combustion Science 37 (2011) 52e68.
- Prasad, S., Singh, A., Joshi, H.C., Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. Resour. Conserv. Recy., 50, 1–39, 2007.
- Sabancı, A., Ören, M.N., Yaşar, B., Öztürk, H.H., Atal, M., 2010. Türkiye’de biyodizel ve biyoetanol üretiminin tarım sektörü açısından değerlendirilmesi. Ziraat Mühendisleri Odası 7. Teknik Kongresi, Ankara. 2:933-953.
- Shafiee, S., Topal, E., 2009. When will fossil fuel reserves be diminished?., Energy Policy, 37:181-189.
- Singh D, Dahiya JS, Nigam P. Simultaneous raw starch hydrolysis and ethanol fermentation by glucoamylase from *Rhizoctonia solani* and *Saccharomyces cerevisiae*. J Basic Microbiol 1995;35:117e21.
- Sluter, J.B., Ruiz, R.O., Scarlata, C.J., Sluter, A.D., and Templeton, D.W., 2010. "Compositional Analysis Of Lignocellulosic Feedstocks. 1. Review And Description Of Methods, Journal of Agricultural and Food Chemistry. 58: 9043–9053.
- Smith A.M. Prospects for increasing starch and sucrose yields for bioethanol production. Plant J 2008;54:546–58.
- Sun, Y., Cheng, J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. Bioresource Technology, 101:4744-4753.
- Turov, Y.Y., 1965. Petrochemical Production of Japan. Chemistry and Tecnology of Fuels and oils, 1: 160-164, 1965.
- Verma G, Nigam P, Singh D, Chaudhary K. Bioconversion of starch to ethanol in a single step process by co-culture of amyolytic yeasts and *Saccharomyces cerevisiae* 21. Bioresour Technol 2000;72:261e6.