

Tahıllardan Etanol Üretimi

Raciye MERAL¹ Gülşah SAYDAN KANBEROĞLU²

ÖZET: Etanol motorlu araçlarda kullanılan yenilenebilir bir likit yakıttır. Fermentasyon yoluyla elde edilen etanol, yandığı zaman atmosferik CO₂ miktarında artışa neden olmaz. Etanolün yakıt olarak kullanımı sera gazları miktarını ve benzin ithalatını azaltabilir. Şeker kamışı ve mısır fermente alkol üretmek için en yaygın olarak kullanılan hammaddelerdir ancak bu bitkilerin sahip oldukları bazı dezavantajlar, günümüzde tahıl kaynaklı hammaddenin etanol üretiminde daha fazla kullanılmaya başlamasını sağlamıştır. Buğday, sorgum, arpa, tritikale, çavdar ve pirinç etanol üretiminde kullanılan tahıllardır. Bu makalede etanol üretiminde kullanılan tahıl kaynaklı hammaddelerin bazı özellikleri tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Etanol, buğday, mısır, sorgum, tritikale



Ethanol Production from Cereals

ABSTRACT: Ethanol represents an important, renewable liquid fuel for motor vehicles. Ethanol derived from fermentation produces no net increase in atmospheric CO₂ when burned. The consumption of ethanol as biofuel may reduce greenhouse gases, gasoline imports. Sugar cane and maize are the most widely used feedstocks in order to produce the ethanol, but these plants have several disadvantages. Nowadays, cereal-based feedstocks are used more than sugar cane and maize. Wheat, sorghum, barley, triticale, rye and rice are cereals for producing ethanol. In this paper, some properties of cereal-based feedstocks were discussed.

Keywords: Ethanol, wheat, maize, sorghum, triticale

¹ Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Van, Türkiye

² Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Van, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Raciye MERAL, racyemeral@yyu.edu.tr

GİRİŞ

Enerji, tüm yaşamsal ve biyokimyasal faaliyetler için gereklidir ve hayatımızı yakından ilgilendiren ve insanların yaşantılarını kolaylaştıran her türlü işlev için kullanılmaktadır. Dünya nüfusunun giderek artması ve daha çok ülkenin endüstrileşmeye başlamasıyla enerji tüketimi de artmaktadır. Petrol enerji talebini karşılayan temel kaynaktır. Enerji tüketiminin yüksek boyutlara ulaştığı günümüzde, petrol kaynaklarının giderek azalacağı tahmin edilmektedir. Fosil yakıtlar hem tükenbilir enerji kaynağıdır hem de küresel ısınmayı arttırmaktadırlar. Bu yakıtlar, sera gazları olarak adlandırılan CO₂, metan, ozon vb. gazların atmosferdeki miktarında hızlı bir artışa neden olmakta ve küresel ısınmayı tetiklemektedir. Bu dezavantajları nedeniyle fosil yakıtların önemini giderek yitireceği ve 2050 yılına kadar yıllık petrol üretiminin 25 milyar varilden yaklaşık 5 milyar varile düşeceği bildirilmektedir (Sun and Cheng, 2002). Fosil yakıtların tükenbilir olması ve bu yakıtların neden olduğu küresel ısınma, araştırmacıları farklı enerji kaynakları bulmaya ve küresel ısınmayı önleme arayışına yöneltmiştir. Küresel ısınmayı kontrol altına almak için alınabilecek bazı önlemleri; enerji tüketimini azaltmak, daha düşük karbon içeren yakıtlara geçiş yapmak, fosil yakıtların kullanımını azaltmak, sera gazlarının atmosfere dağılımını azaltmak, CO₂ emisyonunu azaltan, temiz ve yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarını kullanmak ve CO₂ üretimi için biyokütle gibi doğal kaynaklardan elde edilen biyoyakıtları kullanmak şeklinde sıralamak mümkündür (Balat, 2011).

Biyokütleden elde edilen modern biyoyakıtlar etanol, metanol, biyodizel, metan ve trigliserit yağdır. Yapılan çalışmalar biyoyakıt ürünlerinin, fosil yakıtlardan daha az sera gazı oluşturduğunu ve küresel ısınmanın kontrol altına alınmasında etkili olduğunu göstermiştir (Lal, 2008). Etanol fosil yakıtlardan farklı olarak şeker kamışı, mısır, buğday, sorgum vb. tahıllar ile lignoselülozik hammaddeden fermentasyon yoluyla üretilen ve tek başına kullanılabilirdiği gibi benzine karıştırılarak ta kullanılabilen alternatif bir biyoyakıttır. İlk olarak 1897 yılında Nikolas Otto tarafından icat edilen içten yanmalı motorda kullanılmaya başlanan etanol, sonraları yakıt-etanol karışımları şeklinde benzine ihtiyaç duyan tüm araçlar ve motorlarda başarıyla kullanıldı. Tahıl, melas, koçan, meyve, kabuk gibi çeşitli ürünlerden üretilebilen etanolün kullanımı, düşük kâr nedeniyle 1930'lı yıllardan sonra azalmaya başladı ancak 1970'lerde patlak veren petrol krizi, etanolün al-

ternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmasını sağladı. 1975 yılında fermentasyon yoluyla üretilen endüstriyel etanol 76.000.000 litre iken sentez yoluyla üretilen etanol 8.000.000 litreydi. Etanol 1980'lerden bu yana birçok ülkede alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır (Balat et al., 2007). Etanol oksijenlendirilmiş bir yakıttır ve oksijen varlığında yanmayı geliştirir. Bu nedenle hidrokarbon, karbonmonoksit ve tanecik emisyonu düşer. Etanol petrole kıyasla, daha yüksek oktan sayısına, daha geniş yanma sınırlarına, daha yüksek yanma hızına ve daha yüksek bir buharlaşma sıcaklığına sahiptir. Bu özellikler etanole daha yüksek bir sıkıştırma oranı sağlarken; kısa sürede yanma ve motorda daha az tahribat oluşmasına olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte etanolün, benzinden daha az enerji yoğunluğuna sahip olması (etanolün enerjisi, petrol enerjisinin %66' sındır), korozyon olasılığının daha fazla olması, düşük yanma lüminasyonu, düşük buhar basıncı, su ile kolayca karışması ve oksijenlendirilmiş bir yakıt olması sebebiyle nitrojen oksit emisyonunu arttırması gibi bazı dezavantajları da vardır (Balat, 2011).

Etanol Üretim Aşamaları ve Etanol Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Etanol, hava kirliliğini azaltmak ya da petrol ürünlerinin tüketimini azaltmak amacıyla, benzinle değişik oranlarda karıştırılarak kullanılabilen bir yakıttır. En yaygın uygulamalar E10 ya da E85 diye bilinen sırasıyla %10 ve %85 etanol içeren karışımlardır (Yaşar, 2009). Etanol çoğunlukla, şekerin ekmek mayası olarak bilinen *Saccharomyces cerevisiae* tarafından fermentasyon ortamında kullanılması sonucu elde edilir (Buresova and Hrivna, 2011). Etanol basit olarak renksiz, berrak, yanıcı, oksijenlenmiş hidrokarbondur. Farklı içerikli biyokütleden elde edilebilen bir yakıttır ve bu biyokütller, işlenmelerine ve uygulama farklılıklarına göre; şeker içeren hammadde, nişasta içeren hammadde ve lignoselülozik hammadde olarak sınıflandırılmaktadır.

Şeker İçerikli Kaynaklar

Şeker sanayinin atığı olan melas gibi yüksek oranda glikoz ihtiva eden kaynaklardır ve hiç bir ön işlem yapmaya gerek duymaksızın fermentasyon ortamına eklenebilirler. Nişasta ve lignoselülozik materyaller gibi kompleks şeker kaynaklarına kıyasla 5-6 karbonlu bir şeker kaynağının etanol haline dönüştürülmesi, daha kolaydır. Bu materyaller maya hücreleri tara-

findan kolaylıkla parçalanabildiklerinden dolayı etanol üretimi için ön işleme tabi tutulmazlar (Balat, 2011).

Nişasta İçerikli Kaynaklar

Mısır, buğday, sorgum ve arpa gibi direk şeker içermeyip, şekerin bir formu olan nişasta ihtiva ederler. Nişasta ön işlemlerden geçirilip içindeki glikoz açığa çıkarılır ve fermentasyon ortamına bırakılır. Nişastadan etanol üretimi için öncelikle mayanın kullanabileceği glikoz şurubu elde edilmelidir. Bunun için nişasta zincirlerinin parçalanması gerekmektedir. Bu tip hammadde özellikle Kuzey Amerika ve Avrupa'da çok kullanılmaktadır. Maliyeti yüksektir. Bunun başlıca nedeni mayanın nişastayı parçalayamaması nedeniyle α -amilaz ve glikoamilaz gibi enzimlere ihtiyaç duyulması ve yüksek etanol verimi elde edebilmek için nişastanın yüksek sıcaklıklarda (413-453 K) pişirilmesidir. Nişasta sakkarifikasyonu için öncelikle ısıl işlem uygulanarak nişasta jelatinizasyonu sağlanmaktadır. Jelatinize nişasta α -amilaz tarafından parçalanarak sıvılaştırma sağlanmakta ve ardından glikoamilaz ile fermente edilebilir şekerler açığa çıkarılmaktadır. Nişastanın hidrolizi enzimatik yapılabildiği gibi asitle de yapılabilmektedir. Ancak asit hidrolizi sırasında istenmeyen görüntü oluşumuna neden olan toksik 5-hidroksimetilfurfural (HMF) oluştuğu için enzim hidrolizi daha çok tercih edilmektedir (Aggarwal et al., 2001).

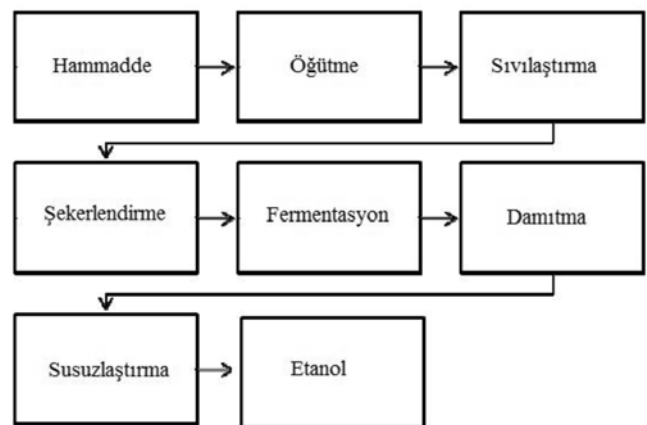
Lignoselülozik Kaynaklar

Odunsu maddeler, enerji bitkileri ve tarımsal atıklar gibi selülozik hammaddelerdir. Bunlar öncelikli olarak sakkarifikasyon ön işlemine tabii tutularak, içerisindeki şekerin açığa çıkması sağlanır. Ardından fermentasyon ortamına eklenirler. Tarım alanlarının sınırlı olması ve ekili alanlardaki tahıl ürünlerinin hem gıda hem de etanol üretiminde kullanılmaya başlamasıyla gıda ve etanol kaynakları sınırlı hale gelmeye ve etanol fiyatları yükselmeye başlamıştır. Bu nedenle düşük fiyatlı etanol üretimi sağlayacak hammadde arayışı başlamış ve bu arayış araştırmacıları zirai artıklar, odunsu maddeler, saman, katı hayvan artıkları gibi lignoselülozik materyalce zengin hammaddelere yöneltmiştir. Pirinç samanı ve buğday samanı en çok kullanılan lignoselülozik materyaldir. Lignoelülozik materyal yüksek verimi, düşük fiyatı, düşük kaliteli topraklara uygunluğu ve düşük çevresel etkileri nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak etanole dönüşüm için ön işlem gerektirmektedir. Ön işlemin amacı lignin ve hemiselülozu uzaklaş-

tırmak, selülozun kristalinitesini azaltmak ve hammadenin gözenekli yapısını artırmaktır (Sun and Cheng, 2002). Ön işlemlerle lif yapısı değiştirilir ve enzimin selülozik materyal ile temas etmesi sağlanır. Çeşitli ön işleme metotları vardır. Bu metotlar seçilirken selülozik materyal yapısı, işlem süresi, işlem etkinliği, fiyat, ön işlem sırasında oluşabilecek toksik madde miktarı, düşük enerji girdisi, etanol verimi ve kalitesi gibi çeşitli parametreler dikkate alınmaktadır (Thomas-Pejo et al., 2008). Kullanılan ön işlem metodu aşağıda sıralanan beklentileri karşılamalıdır.

1. Ön işleme metodu fermente edilebilir şeker oluşumunu artırmalı,
2. Karbonhidratların degradasyonuna veya kaybına neden olmamalı,
3. Hidroliz ve fermentasyon aşamalarının inhibisyonuna neden olacak yan ürün oluşturmamalı,
4. Fiyatı uygun olmalıdır (Sun and Cheng, 2002).

Kullanılan hammadde kaynağı ne olursa olsun etanol üretimi sırasında kullanılan yöntemler temel prensipleri aynıdır. Etanol üretiminde biyokütle, dört ana basamaktan geçerek etanole dönüşür. Bu basamaklar; şekerin açığa çıkması için ön işlemlerin uygulanması, bakteri ya da mayaların kullanılması ile şekerin etanol ve CO₂'e dönüşmesi, etanolün distilasyon yöntemi ile fermentasyon ortamındaki diğer bileşenlerden ayrılması, dehidrasyon uygulaması ile etanolde karışık bulunan suyun uzaklaştırılmasıdır (Bayrakçı, 2009). Şekil 1' de etanol üretimindeki temel basamaklar gösterilmiştir.



Şekil 1. Etanol üretim basamakları (Bayrakçı, 2009)

Etanol üretiminde karşılaşılan en önemli problem hammadde teminidir. Hammadde fiyatı ve kalitesi mevsimden mevsime göre değişiklik gösterebilmektedir. Çoğu tarım ürününü her yıl aynı miktar ve kalitede üretmek mümkün değildir. Coğrafi koşullar, mev-

Çizelge 1. Farklı biyokütle kaynaklarının etanol potansiyelleri (Balat et al., 2007)

Hammadde	Etanol Potansiyeli (l ton ⁻¹)
Şeker Kamışı	70
Şeker Pancarı	110
Mısır	360
Pirinç	430
Buğday	340
Arpa	250
Tatlı Sorgum	60
Küspe ve diğer selülozik biyoküteller	280

sim gidişatı, toprak verimliliği, toprak eğimi, zirai çalışmalar ürün miktar ve kalitesini önemli oranda etkileyebilmektedir (Thomas-Pejo et al., 2008). Bu gibi çevresel faktörler daha farklı doğal kaynaklar arayışına neden olmaktadır. ABD ve Brezilya dünya etanol üretiminin yaklaşık %70'ini sağlayan iki lider ülkedir. Bu ülkeler etanolün büyük çoğunluğunu mısır ve şeker kamışından sağlamaktadırlar (Balat, 2011). Kullanılan hammadde ülkelerin iklim ve coğrafi koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çizelge 1' de farklı biyokütle kaynaklarının etanol potansiyelleri verilmiştir.

Artan etanol talebini karşılayabilmek için uygun hammadde seçimi ve hammaddeyi etkili bir şekilde etanole dönüştürebilmek son derece önemlidir. Endüstriyel alkol üretiminde temel amaçlardan biri arazi başına daha fazla yenilenebilir yakıt elde edebilmektir. Bunun için tahıllar çok avantajlı görünmektedir. Ayrıca, tahılları yetiştirmek için şeker pancarı üretiminde olduğu gibi çok fazla enerji sarf edilmesine de gerek yoktur (Kucerova, 2007). Tahıllar gibi nişastaca zengin materyalin, hammadde temininin kolay olması, ek bir alt yapı maliyeti gerektirmemesi ve lignoselülozik materyalden daha homojen ve reaktif karbonhidrat içermesi gibi bir takım avantajları bulunmaktadır. Bu tip hammaddenin lignoselülozik materyalden üstün yönlerinden birisi de saf ve değerli bir ticari ürün olan şekere dönüştürülebilmesinin daha kolay olmasıdır. Karbonhidratça zengin bitkisel materyal, fazla enerji ve maliyet gerektirmeden şekere dönüştürülebilmektedir (Ben-net and Anex, 2009).

Mısır

Mısır, gerek besin maddesi olarak gerekse glikoz, nişasta, yağ ve yem sanayinin ham maddesi olarak önemli bir üründür. Mısır, günümüzde iki temel biyoyakıt hammaddesinden biridir. Ayrıca soya fasulyesinden sonra ikinci en büyük biyoteknolojik üründür (Torney et al., 2007). Mısırdan elde edilen etanol oksijenlendirilmiş şekilde 1980'lerden beri kullanılmaktadır (Sun and Cheng, 2002). Yüksek verim nedeniyle ABD' de etanolün % 70'i mısırdan üretilmektedir. (Balat, 2011). ABD mısırdan her yıl 13 milyar galon etanol üretme kapasitesine sahiptir ve bu miktarın her yıl daha da artması beklenmektedir (Gray et al., 2006). Mısırdan etanol üretiminde en önemli aşama nişastanın etkili bir şekilde fermente edilebilir şekerlere dönüştürülmesidir. Mısıra uygulanan ön işlemler sırasında embriyo ve lif yapısının uzaklaştırılması etanol verimin artırılmasında oldukça etkilidir (Corredor et al., 2006).

Mısır bazlı nişastadan elde edilen etanol üretimindeki hızlı artış, gıda ve yem olarak kullanılmak üzere ekilen alanlardaki mısır miktarında düşüşe neden olmaktadır. Bir üründen hem gıda hem yem hem de etanol üretimi çeşitli sıkıntılara yol açmaktadır (Torney et al., 2007). Ekili alanlardan elde edilen mısırın etanol üretiminde kullanılması, etanol fiyatlarının fosil yakıt fiyatlarından fazla olmasına neden olmaktadır (Sun and Cheng, 2002). Mısırdan etanol üretiminde ortaya çıkan dezavantajlardan biri de mısırın diğer tahıllara göre daha fazla toprak erozyonuna neden olması ve mısır üretiminde daha fazla azotlu gübre kullanmasıdır (Balat, 2011).

Sorgum

Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench); tatlı sorgum, tahıl sorgum ve yemlik sorgum olarak üç sınıfa ayrılmaktadır (Almoderes and Hadi, 2009). Sorgum, gelişmekte olan ülkelerde enerji üretimi için araştırılan bitkiler arasında özellikle etanol üretimi için en ümit verici olanıdır. Tatlı sorgum kuraklık sırasında dormant hale geçebilme yeteneğine sahip olduğu için kuraklığa en dayanıklı zirai üründür. (Balat et al., 2007). Sorgum yüksek tuza dayanıklı, su tutma kapasitesine sahip, pH değeri 5-8 aralığında olan yüksek alkali içeriğine sahip topraklarda gelişebilen verimi yüksek bir biyokütledir (Almoderes and Hadi, 2009). Sorgum yüksek karbonhidrat içeriğine sahip olması nedeniyle en önemli etanol kaynaklarından biri olmaya başlamıştır. Ayrıca sorgum en ucuz şeker kaynaklarından birisidir (Aggar-

wal et al., 2001). Tatlı sorgum ılıman iklimlerde yetişebilir. Çok fazla azota gereksinim duymaz ve yetiştirme periyodu oldukça kısadır (Goshadrou et al., 2011). Tatlı sorgumdan elde edilen şeker, hektar başına yaklaşık 8.000 litre etanol üretimi sağlamaktadır. Bu değer mısırdan elde edilen etanolün iki katı, Brezilya’da üretilen ve 6.000 l/ha etanol üretimi sağlayan şeker kamışının yaklaşık %30 fazlasıdır (Bennet and Anex, 2009). Tatlı sorgumun en önemli dezavantajları, mevsimsel olarak elde edilişi ve depolamasının pahalı oluşudur. Depolama için iyi hazırlanmış altyapıya ve iş gücüne ihtiyaç vardır. Depolama masraflarının yüksek oluşu ve yüksek şeker içeriğinden dolayı mikroorganizmalar tarafından bozulmaya müsait olması nedeniyle hasattan hemen sonra ve ılıman koşullarda sorgum nişastasının etanole dönüştürülmesi gerekmektedir (Bennet and Anex, 2009).

Tahıl sorgum ABD ve Meksika’da en çok üretilen tahıllardan biridir. Araştırmacılar ve etanol üreticileri sorgumun etanol üretimi için teknik açıdan kabul edilebilir özelliklere sahip, alt yapı özelliklerine uygun, ekonomik açıdan kârlı ve ülkelerin etanol ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Sorgumdan elde edilen etanolün özellikleri mısırdan elde edilen etanolün özellikleriyle karşılaştırılabilir düzeydedir (Wang et al., 2008). Dünyanın kurak bölgelerinde ve yarı kurak topraklarda yetişebilmesi ve mısıra kıyasla çok sert topraklarda gelişebilmesi tahıl sorgumun avantajlarından birisidir. Sorgum, üreticiler tarafından mısırdan daha ucuz olması ve daha fazla ürün vermesi nedeniyle de tercih edilmektedir. Nişastaca zengindir ve nişasta kompozisyonu mısıra çok benzer. Sorgum nişastasının sindirilebilirliğinin düşük olması, mısıra kıyasla daha düşük etanol verimine sahip olmasına neden olmaktadır. Bunun başlıca nedenleri nişasta ile protein arasındaki güçlü interaksiyon, sorgumun yüksek lif içeriği ve sorgumda bulunan tannin gibi bazı fenolik bileşiklerin, enzimleri inhibe etmesidir. Yüksek orandaki tannin, nişasta ve protein sindirilebilirliğinde yaklaşık %10’luk bir kayba neden olmaktadır (Zhan et al., 2006). Bu etmenler doğal ve jelatinize olmuş nişastanın enzim hidrolizine duyarlılığını azaltmaktadır. Nişasta ve protein interaksiyonunu bozarak sorgum nişastasının etanole dönüşüm oranını artırabilmek amacıyla çeşitli ön işlemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler öğütme, partikül küçültme gibi mekanik, kabuk soyma, buhar verme, radyasyon, sonikasyon ve ekstrüzyon gibi fiziksel, asit veya alkali hidrolizi gibi kimyasal, enzim hidrolizi, mikroorganizmalarla muamele gibi biyolojik metotları ve bunların kombinasyonlarını kapsamaktadır (Chuck-Hernandez, 2009).

Buğday

Buğday 115 den fazla ülkede tarımı yapılan ve dünyada en çok yetiştirilen zirai üründür. Son yüzyılda üretimi daha da artan buğday, dünya nüfusunun büyük çoğunluğunun gıda talebini karşılamakta kullanılan bir tahıldır. Dünyada insan gıdasının yaklaşık %21’i buğday ve buğdaydan hazırlanan ürünlerden sağlanmaktadır (Talebna et al., 2010). Buğday dünyada etanol üretiminde mısırdan ve şeker kamışından sonra en çok kullanılan üründür. Daha önce yapılan çalışmalarda buğdayın etanol veriminin %90 civarında olduğu ifade edilmiştir (Wu et al., 2006). Etanol üretimi için buğdayın içerdiği nişasta miktarı önemlidir. Protein miktarı yüksek olan ekmeçlik buğdaylar etanol üretimine uygun değildir (Buresova and Hrivna, 2011).

Artan nüfusun gıda taleplerini karşılamak için buğday yetiştirmek, orman bölgelerinin azalması, kırsal üretimin düşmesi ve atık maddelerin suyu kirletmesi gibi çevre üzerine olumsuz etkilere neden olmaktadır. Buğday üretiminin artması; toprağın aşırı derecede zorlanması, toprak erozyonu, pestisitler ve suni gübreler yüzünden suyun kirlenmesi, buğday hasadı sırasında buğday samanının yakılmasıyla havanın kirlenmesi, aşırı mahsul nedeniyle biyo çeşitliliğin azalması, küçük ve orta büyüklükteki tarım alanlarının kaybolması ve kırsal alanlardan göç gibi ek problemleri de beraberinde getirmektedir. Daha kârlı bir yatırım olarak görünen etanol üretimi için buğday yetiştirilmesi ve toprağın aşırı yüklenmesi muhtemelen bu problemleri daha da kötüleştirecektir. Ayrıca gıda olarak kullanılması gereken buğdayın etanol üretiminde kullanılması gıda fiyatlarında da artışa neden olacaktır (Dong et al., 2008). Bu nedenle buğday yerine buğday samanından etanol üretilmeye başlanmıştır (Talebna ve ark., 2010). Dünya üzerinde 354 milyon ton buğday samanı üretildiği ve bundan 104 galon etanol elde edildiği ifade edilmektedir (Ballesteros et al., 2006).

Tritikale

Tritikale buğday ve çavdar melezi bir tahıldır. Hammadde olarak strese dayanıklı olması, kalitesi düşük topraklarda gelişebilme yeteneği, iklim koşullarına dayanıklılığı, kuraklık toleransı, asitli topraklara dayanabilme yeteneği, düşük besin ihtiyacı ve yetiştirme döneminde düşük azot gereksinimi gibi bir takım avantajları vardır. Aynı verimliliğe sahip diğer tahıllara kıyasla daha az gübreye gereksinim duymaktadır. Ayrıca çavdar ve buğdaya zarar veren pestisit ve hastalıklara kar-

şı daha dayanıklıdır (Garcia-Aparico et al., 2011; Kucerova, 2007). Yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda tritikale ve buğdayın tahıllardan etanol üretimi için en uygun seçim olduğu ve benzer koşullarda yetişen çavdara göre daha fazla etanol üretimine olanak sağladığı ifade edilmektedir. Tahıllardan etanol üretiminde önemli faktörlerden birisi hammaddenin nişasta içeriğidir. Etanol üretimi için en az %60 nişasta içeriğine gereksinim vardır. Diğer önemli faktör de α -amilaz aktivitesi, viskozite indeksi (FN) ve nişasta jelatinizasyon derecesidir. Etanol verimi ile viskozite indeksi arasında pozitif korelasyon vardır. Tritikale, buğday ve çavdara kıyasla daha yüksek otoamilolitik aktiviteye sahiptir. Yani tritikalenin içeriğinde bulunan amilaz aktivitesi diğer tahıllara kıyasla daha yüksektir (Kucerova, 2007). Tahılın yüksek amilaz aktivitesine sahip olması etanol üretiminde arzu edilen bir durumdur. Çünkü yüksek amilaz aktivitesi dışarıdan daha az enzim eklenmesini sağlar (Buresova and Hrivna, 2011). Yüksek amilaz aktivitesi, sakkarifikasyon aşamasında hazır enzim preparatlarının kullanımının %50 oranında azalmasını sağlar (Kucerova, 2007). Tritikale düşük miktarda nişasta içerir ancak fermentasyon sırasındaki değişikliklere daha az duyarlı olduğundan etanol verimi yüksek olur (Buresova and Hrivna, 2011).

Arpa

Arpa, en eski devirlerden beri alkolün hammaddelerinden biridir. Özellikle bira yapımında kullanılan arpa, nişasta miktarı ve amilaz aktivitesi yüksek bir tahıl çeşididir. Etanol üretimi için arpanın kullanımı son yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır. Avrupa’da gelişen teknolojiler arpanın etanol üretiminde mısır yerine kullanımını sağlamaya başlamıştır (Kim et al., 2008). Ancak mısır ve buğdaya nazaran daha az nişasta oranına sahip olması ve bir dış kabuğa sahip olması arpanın başlıca dezavantajlarıdır. Fermentasyon sürecinden önce tahıl tanesindeki kabuğun ve nişasta dışı kısmın ayrılması üretim sürecini ve maliyeti etkilemektedir. Arpadan etanol üretilmesi çalışmaları doğal olarak kabuksuz arpaların yetiştirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. (Bulut, 2006).

Pirinç

Pirinç, ancak çok sulak yerlerde yetişebilen bir bitkidir. Dünyada üretim açısından, buğday ve mısırdan sonra üçüncü sırayı almaktadır. Soğuk suda çözünme-

yen granüller formda olan pirinç nişastası, organizmalar için depo materyali olarak bitki hücrelerinde depolanan önemli bir karbonhidrattır. Pirinçten etanol üretiminde, pirincin öncelikle ıslatılması, ardından enzim eklenmesi suretiyle hidrolize edilmesi gerekmektedir (Bayrakçı, 2007).

Çavdar

Çavdar gibi bazı tahılların gelişmesi için yüksek oranda azot içeren topraklara gereksinim vardır. Maliyet noktasından bakıldığında çavdardan etanol üretilmesi fosil yakıtlardan daha yüksek bir maliyet gerektirdiğinden günümüzde çavdardan etanol üretimi pek yaygın değildir (Petersson et al., 2007).

SONUÇ

Etanolün benzine alternatif olarak kullanılması, gelecekteki enerji ihtiyacını karşılayacak olmasıyla birlikte, tarımsal ve endüstriyel iş hacminde artış sağlaması, sürdürülebilir ve güvenli bir enerji piyasası oluşturması, çevre kirlenmesini azaltması ve ekonomiye katkı sağlamasından dolayı önem taşımaktadır. Biyokütlelerin etanol verimini araştırmak ve nişastaca zengin materyallerin etanole dönüşümünü sağlamak için çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bunun için yeni hammaddeler aranmakta, bu maddelerin yetiştirme koşulları, etanol verimleri incelenmekte ve etkin bir dönüşüm için yeni teknikler üretilmektedir. Ülkelerin sahip olduğu teknolojik düzey ve tarımsal potansiyele göre her geçen gün artış gösteren etanol üretimi, önemli tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Dünya genelinde yaşanan kuraklığa bağlı olarak azalma gösteren tarım ürünleri ve tarım ürünlerinin etanol üretiminde kullanılması gibi nedenlerle artan gıda fiyatları, tarımsal ürünlerin enerji amaçlı üretimi ve kullanımı yönündeki tartışmaları artırmıştır. İnsanların, tarım alanlarına ekilen tahılların gıda yerine yakıt üretiminde kullanılmaya başlamasıyla kıtlık yaşanabileceği yönündeki endişeleri, etanol üretimi için başka kaynaklar bulmayı ve yeni teknolojiler geliştirmeyi zorunlu kılmıştır. Bilim dünyasındaki ilerlemeler ve gelişen teknolojiler, etanol ile ilgili oluşabilecek problemleri de çözmeye yardımcı olacaktır. Sonuç olarak endüstriyel ölçekte etanol üretimiyle, fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltılabilecek ve yeni iş olanakları geliştirilebilecektir.

KAYNAKLAR

- 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., Hadi, M.R., 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 4(9): 772-780.
- Balat, M., Balat, H., Öz, C., 2007. Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 551-573.
- Balat, 2011. Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review. *Energy Conversion and Management*, 52: 858-875.
- Ballesteros, I., José Negro, M., Miguel Oliva, J., Cabanas, A., Manzanares, P., Ballesteros, M., 2006. Ethanol production from steam-explosion pretreated wheat straw. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 129-132.
- Bayrakçı, A.G., 2009. Değişik biyokütle kaynaklarından biyoetanolün elde edilmesi üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), İzmir.
- Bennet, A.S., Anex, R.P., 2009. Production, transportation and milling costs of sweet sorghum as a feedstock for centralized bioethanol production in the upper Midwest. *Bioresource Technology*, 100: 1595-1607.
- Bulut, B., 2006. Tarıma dayalı alternatif yakıt kaynaklarından biyoetanol ve Türkiye için en uygun biyoetanol hammaddesi seçimi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), İstanbul.
- Buresova, I., Hrivna, L., 2011. Effect of wheat gluten proteins on bioethanol yield from grain. *Applied Energy*, 88: 1205-1210.
- Chuck-Hernandez, C., Perez-Carrillo, E., Serna-Saldivar, S.O., 2009. Production of bioethanol from steam-flaked sorghum and maize. *Journal of Cereal Science*, 50: 131-137.
- Corredor, D.Y., Bean, S.R., Schober, T., Wang, D., 2006. Effect of decorticating sorghum on ethanol production and composition of DDGS. *Cereal Chemistry*, 83: 17-21.
- Dong, X., Ulgiati, S., Yan, M., Zhang, X., Gao, W., 2008. Energy and emery evaluation of bioethanol production from wheat in Henan Province, China. *Energy Policy*, 36: 3882-3892.
- Garcia-Aparicio, M., Trollope, K., Tyhoda, L., Diedericks, D., Görrens, J., 2011. Evaluation of triticale bran as raw material for bioethanol production. *Fuel*, 90: 1638-1644.
- Goshadrou, A., Karimi, K., Taherzadeh, M.J., 2011. Bioethanol production from sweet sorghum bagasse by *Mucir hiemalis*. *Industrial Crops and Products*, 34: 1219-1225.
- Gray, K., Zhao, L., Emptage, M., 2006. Bioethanol. *Current Opinion in Chemical Biology*, 10: 141-146.
- Kim, T.H., Taylor, F., Hicks, K.B., 2008. Bioethanol production from barley hull using SAA (soaking in aqueous ammonia) pretreatment. *Bioresource Technology*, 99: 5694-5702.
- Kucerova, J., 2007. The effect of year, site and variety on the quality characteristics and bioethanol yield of winter triticale. *Journal of the Institute of Brewing*, 113(2): 142-146.
- Lal, R., 2008. Crop residues as soil amendments and feedstock for bioethanol production. *Waste Management*, 28: 747-75.
- Petersson, A., Thomsen, M.H., Hauggaard-Nielsen, H., Thomsen, A.B., 2007. Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass and Bioenergy*, 31: 812-819.
- Sun, Y., Cheng, J., 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technology*, 83: 1-11.
- Talebna, F., Karakashev, K., Angelidaki, I., 2010. Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresource Technology*, 101: 4744-4753.
- Thomas-Pejo, E., Oliva, J.M., Ballesteros, M., 2008. Realistic approach full-scale bioethanol production from lignocellulose: A review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 67: 874-884.
- Torney, F., Moeller, L., Scarpa, A., Wang, K., 2007. Genetic engineering approaches to improve bioethanol production from maize. *Current Opinion in Biotechnology*, 18: 193-198.
- Wang, B., Bean, S., McLaren, J., Seib, P., Madl, R., Tuinstra, M., Shi, Y., Lenz, M., Wu, X., Zhao, R., 2008. Grain sorghum is a viable feedstock for ethanol production. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 35: 313-320.
- Wu, X., Zhao, R., Wang, D., Bean, S.R., Seib, P.A., Tuinstra, M.R., Campbell, M., O'Brien, A., 2006. Effects of amylose, corn protein, and corn fiber contents on production of ethanol from starch-rich media. *Cereal Chemistry*, 83(5): 569-575.
- Yaşar, B., 2009. Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel üretim ve kullanım olanaklarının Türkiye tarımı ve ab uyum süreci açısından değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış), Adana.
- Zhan, X., Wang, D., Bean, S.R., Mo, X., Sun, X.S., Boyle, D., 2006. Ethanol production from supercritical-fluid-extrusion cooked sorghum. *Industrial Crops and Products*, 23: 304-310.

