

TÜRKİYE'DE BİYOETANOL ÜRETİMİ VE POTANSİYELİ

Mehmet MELİKOĞLU*, **Ayhan ALBOSTAN****

* Enerji Sistemleri Müh., Mühendislik Fakültesi, Bahçeşehir Üniversitesi, Çırağan Cd., 34349 Beşiktaş İstanbul

** Enerji Sistemleri Müh., Mühendislik Fakültesi, Atılım Üniversitesi, Kızılcaşar Mah., 06836, İncek Gölbaşı Ankara,

mehmet.melikoglu@bahcesehir.edu.tr, aalbostan@atilim.edu.tr

(Geliş/Received: 09.04.2010; Kabul/Accepted: 14.06.2010)

ÖZET

Küresel enerji talebindeki sürekli artış ve ihtiyaç, yeni enerji kaynaklarının bulunmasını zorunlu hale getirmektedir. Türkiye kullandığı petrolün neredeyse tamamını ithal etmektedir buda ekonomik açıdan ciddi sıkıntılar ortaya çıkarmaktadır. Bir tahıl ambarı olan Türkiye'de enerji tarımının yapılması ve biyoetanol üretilmesi petrole olan bağımlılığı ve sera gazı salınımlarını azaltacaktır. Bu çerçevede, Türkiye'de biyoetanol üretimi petrole karşı ciddi bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar neticesinde Türkiye'de şu anki tarımsal üretim ile hiçbir tahıldan, hasadının %100 kullanılsa bile, benzin tüketimine eşdeğer miktarda biyoetanol üretilmesi mümkün değildir. Ancak, E5 ve E10 benzin üretimi buğday hasadın %4 ve %7'lik kısımları kullanılarak karşılanabilecektir. Ayrıca, Türkiye'de kullanılmayan tarımsal araziler üzerinde patates, şeker pancarı ve buğday ekimi ile yıllık 5.8, 8.7 ve 13.7 milyar litre biyoetanol üretilenilecektir ve bu üretim ile Türkiye'nin benzin ihtiyacının tamamı biyoetanol üretimi ile karşılanabilecektir.

Anahtar kelimeler: Alternatif enerji kaynakları, buğday, biyoetanol, karbon döngüsü, yenilenebilir enerji.

BIOETHANOL PRODUCTION AND POTENTIAL OF TURKEY

ABSTRACT

The ever increasing demand in global energy consumption makes it inevitable for the development of new energy resources. Turkey imports nearly all of its petroleum and this causes major economical problems. In Turkey, a major cereal producer, production of energy crops will decrease the dependence of petroleum and greenhouse gas emissions. In this context, bioethanol production in Turkey becomes a major alternative to petroleum. According to the results find in this study, with the current agricultural output, none of the crops can be adequate for bioethanol production even 100% of crop harvests were utilized. However, with 4% and 7% of current wheat harvest bioethanol required for the production of E5 and E10 can be achieved. In addition, by utilizing the unused land available for agriculture and planting potato, sugar beet, and wheat (each 100%), 5.8, 8.7 and 13.7 billion litres of bioethanol can be produced and this production will be more than enough to supply Turkey's current demand for gasoline.

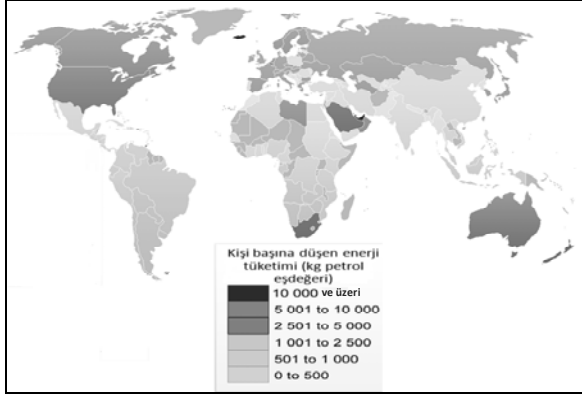
Keywords: alternative energy sources, wheat, bioethanol, carbon cycle, renewable energy.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

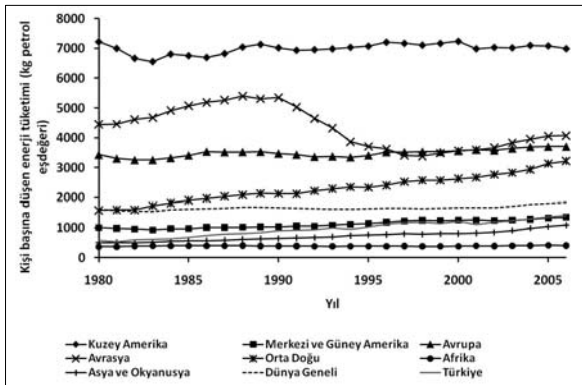
Dünya genelinde enerji kullanımı nüfus artışı ve endüstriyel gelişmelerin eşliğinde hızlı bir şekilde artmaktadır [1]. Dünya genelindeki kişi başına düşen yıllık ortalama enerji tüketimi 2006 yılında 2 ton petrol eşdeğeri seviyesine ulaşmıştır [2]. Günümüzdeki kişi başına düşen enerji tüketimi kg petrol eşdeğeri olarak Şekil 1'de dünya haritası üzerinde gösterilmektedir. Amerika Birleşik

Devletleri, İngiltere, Almanya, Japonya gibi sanayileşmiş ve ekonomik açıdan gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen enerji tüketimi Şekil 2'de gösterildiği gibi dünya genelinin çok üzerindedir. Buda gelişmekte olan ülkelerin enerji arz ve güvenliği açısından ciddi sıkıntılar ortaya çıkarmaktadır.

Konvansiyonel enerji kaynaklarının; petrol, kömür, doğalgaz gibi, mütenehi doğaları sebebiyle yakın bir gelecekte küresel enerji talebini karşılamakta



Şekil 1. Dünyadaki kişi başına düşen enerji tüketimi, kg petrol eşdeğeri [3] (Global energy consumption per capita, kg oil equivalent)



Şekil 2. Dünyada kişi başına düşen temel enerji tüketimi, kg petrol eşdeğeri, 1980 – 2006 [4] (Primary energy consumption in the world per capita, kg oil equivalent, 1980–2006)

zorlanacağı pek çok bilim adamı tarafından kabul edilmektedir [5]. Petrol ve diğer fosil kaynaklı yakıtların kullanımının çevreye verdiği ciddi zararlar, sera gazı salımları ve küresel ısınma, artık pek çok zümre tarafından kabul edilmektedir [6]. Bahsi geçen bu problemler yüzünden pek çok araştırmacı sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve kullanımı üzerinde çalışmaktadır. Fosil yakıtların kullanımının çevreye verdiği zararlar günümüzde en kapsamlı şekilde Kyoto protokolünde incelenmiştir [7]. Ancak, bu protokol 2012 yılında yürürlükten kalkacaktır ve bugün itibari ile bu protokolün yerini nasıl bir anlaşmanın alacağı kesin olarak netleştirilememiştir.

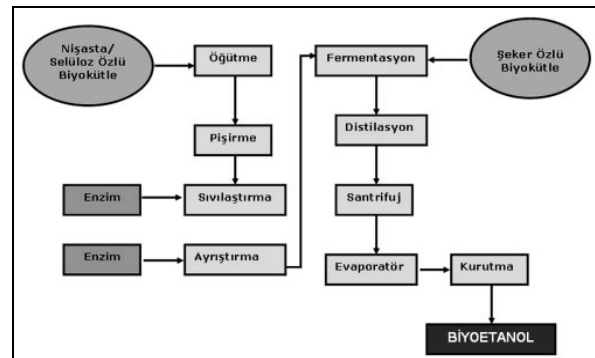
Bu çerçevede, pek çok bilim adamı tarafından 21. yüzyılın sonuna kadar, fosil kaynaklı enerji kaynaklarının yerini rüzgar, güneş, hidrojen ve biyoyakıtlar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının alması öngörülmektedir. Bu değişik alternatif enerji kaynakları içerisinde biyoyakıtlar üretimlerinin kolay, bilinir ve teknolojik açıdan oturmuş olması sebebiyle ön plana çıkmaktadır [8]. Biyoyakıtların depolanması ve taşınması diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre çok daha kolay ve basittir. Biyoyakıtların kullanımı direkt olarak günümüzdeki petrol ve doğalgaz altyapısının üzerine oturtulabilecektir. Buda

bu alanda yapılacak alt yapı çalışmalarının maliyetini ciddi oranda azaltmakta ve biyoyakıtların kullanımını çok cazip hale getirmektedir. Fosil yakıtların hızlı bir şekilde tükenmelerine rağmen, biyoyakıtların fosil yakıtların yerlerini almaları üretim verimliliği, maliyet ve çevresel etkiler göz önüne alınarak şekillenecektir [9, 10]. Ancak, Amerika Birleşik Devletleri’nin 21. yüzyılın başında başlattığı Irak savaşını takiben, petrol fiyatlarında yaşanan ciddi artış, biyoyakıtların küresel olarak üretilmeleri için gerekli olan süreyi kısaltmış ve enerji pazarına hızlı bir şekilde girişlerini sağlamıştır [11, 12].

Önümüzdeki 50 yıl içerisinde biyoyakıtların enerji sektöründe büyük roller üstleneceği öngörülmektedir [13]. Biyoyakıtlar çok geniş bir yelpazede olup bu çeşitli yakıtlar içerisinde biyoetanol, biyodizel, biyogaz ve biyohidrojen en önemli olanlarıdır [14]. Biyoyakıtların içerisinde biyoetanölün, benzine eşdeğer yapıda olduğu için, enerji ve taşımacılık pazarından en büyük payı alacağı tahmin edilmektedir [15]. Gelecekte ulaşım ve taşımacılık için enerji ihtiyaçlarını karşılarken ortaya çıkabilecek çevresel, siyasal ve ekonomik krizleri önlemek için biyoetanol, son derece etkili bir ilk adımdır ve insanlığın eski fosil yakıtlardan yeni, sürdürülebilir teknolojilere doğru yönelen bir köprü vazifesindedir [16].

Biyoetanol, glukozun maya tarafından fermente edilmesi ile üretilir [17]. Değişik hammaddelerden biyoetanol üretiminin süreç diyagramı Şekil 3’de verilmiştir [18]. Bu işlem bira [19] ve şarap [20] üretimiyle temel olarak aynıdır. Bitkiler ve tahıllar güneş enerjisini kimyasal enerjiye çevirip fotosentez ile bunu temel yapı taşlarına dönüştürmektedir [21]. Glukoz genelde bitkiler ve tahıllarda tek başına bulunmaz bunun yerine polisakkarit olarak nişasta [22] veya selüloz [23] olarak saklanır. Bu iki karmaşık karbonhidrat temelde aynı formüle sahiptir ($C_6H_{10}O_5$)_n ve biyoetanol üretiminin başarı ile gerçekleştirilmesi için bu karbonhidratların glukozla ayrıştırılması gerekmektedir [24, 25].

Tahıllardaki monomerlerin ayrıştırılması gıda sanayinde çok sık kullanılan bir tekniktir ve bu



Şekil 3. Değişik hammaddelerden biyoetanol üretim aşamaları [18] (Steps of bioethanol production from different raw materials)

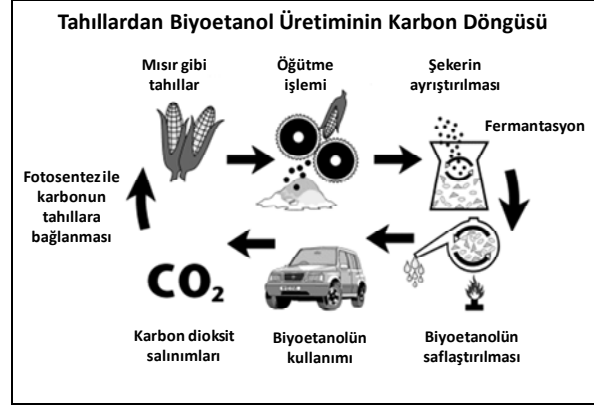
alandaki yapmayı-bilme (know-how) prensipleri oturmuştur [26]. Günümüzde bu işlem enzimatik hidroliz ile sağlanmaktadır. Tahıllardan monomer bakımından zengin bir hidrolizat elde etmek için öncelikle tahıllar bir öğütme işleminden geçirilir burada boyut küçültme ve bitki çeperine zarar vererek aktif yüzey alanını arttırmak hedeflenir [27]. Bu işlemden sonra tahıllar enzim kullanılarak hidroliz edilir ve hidrolizat denilen monomer bakımından zengin bir karışım elde edilir [28]. Buğdaydan biyoetanol üretiminde elde edilecek olan hidrolizat ağırlıklı olarak glukoz ve belli bir oranda amino asitleri içerir. Hidrolizatta, yağ asitleri çok düşük orandadır, çünkü öğütme aşmasında buğday rükseymi tohumdan ayrılır. Bu yüzden, buğdaydan hidrolizat elde etmek için glucoamilaz ve proteaz içeren bir enzim karışımına ihtiyaç vardır [29]. Bu karışım ya farklı kaynaklardan elde edilir ya da ticari olarak satın alınır [30, 31].

2. BİYOETANOLÜN ÖZELLİKLERİ (PROPERTIES OF BIOETHANOL)

Kimyasal olarak etanol ve biyoetanol aynı moleküldür. Bu iki farklı terim literatürde sadece üretim yollarını göstermek için verilmiştir. Etanol petrokimyasal [32], biyoetanol ise biyolojik kaynaklardan mayalanma yolu ile üretilen etanole verilen değişik isimlerdir [33]. Etanol, C₂H₅OH, renksiz [34], yüksek derecede yanıcı [35], su ve benzinle çok iyi bir şekilde karışabilen bir sıvı yakıttır [36]. Biyoetanolün kullanımı günümüzde pek çok kişi tarafından yeni bir kavram olarak anlaşılrsa da aslında üretimi tarihi olarak çok eskilere dayanır. Ulaştırma sektöründe 1800’lü yılların sonunda Henry Ford ve Nicholas Otto tarafından yapılan ilk arabalar ve içten yanmalı motorlar etanol ile çalışmaktaydı [37, 38].

Etanol yüksek oktan sayısına sahiptir ve çevresel nedenlerden dolayı benzinde oktan artırıcı olarak kurşunun yerini almıştır [39]. Biyoetanol, yüzde birden az su içeren, benzinle istenilen oranda karıştırılabilir [40-42]. Bütün içten yanmalı motorlar E10 (Benzin içinde %10 etanol) kadar rahatlıkla çalışabilmektedir [43-45]. E10’dan yüksek karışımlarda motorda ve yakıt taşıyan borularda ufak bazı değişiklikler yapılması gerekmektedir, ancak bu işlem diğer alternatif enerji kaynaklarından geçişte yapılacak harcamalara kıyasla çok küçük bir miktardadır.

Tahıllardan üretilen biyoetanolün taşımacılık sektöründe kullanılması Şekil 4’de gösterildiği gibi teorik olarak karbon nötr bir süreç olarak adlandırılır ve çevreye faydalı olarak kabul edilir [46]. Buda biyoetanol üretiminin arkasındaki temel dayanaklardan biri olarak kabul edilmektedir [47]. Ancak, biyoetanolün yapımında kullanılan tahılları üretmek için kullanılan gübre ve enerjiden kaynaklanan çevresel salınımlar göz önüne alınınca bu üretim tekniğinin tamamıyla karbon nötr olmadığı



Şekil 4. Tahıllardan biyoetanol üretiminin karbon döngüsü [50] (Carbon cycle of bioethanol production from cereals)

gözükmemektedir [48]. Nitekim biyoetanol benzine göre düşük karbon salınımlı bir seçim olarak ön plana çıkmaktadır ve “dolaylı olarak karbon nötr” bir ürün olarak kabul edilmektedir [49].

3. BİYOETANOL ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER (RAW MATERIALS USED IN BIOETHANOL PRODUCTION)

Biyoetanol, içerisinde yeterince glukoz ihtiva eden veya glukozla dönüştürülebilen şekerlerin bulunduğu (sukroz, nişasta, selüloz gibi) hammaddelerden üretilir. Biyoetanol üretiminde kullanılan hammaddeler üç ana grup altında toplanabilir [51]: (i) Sukroz içeren hammaddeler (örnek olarak şeker pancarı, süpürge darısı şerbeti ve şeker kamışı verilebilir), (ii) Nişasta içeren hammaddeler (örnek olarak buğday, mısır ve arpa verilebilir), (iii) Lignoselulozik hammaddeler (örnek olarak saman, odun ve çimen verilebilir). Listedeki birinci ve ikinci grup hammaddeden biyoetanol üretimi günümüzde tamamıyla oturmuş bir teknolojidir. Ancak, üçüncü gruptan biyoetanol üretimi teknolojik açıdan günümüzde tam olarak başarılamamış ve üretim süreci optimize edilememiştir. Bu nedenle günümüzde üretilen biyoetanol “birinci kuşak biyoetanol” denir. Aslen üretim süreci mükemmelleştirildiğinde lignoselulozik kaynaklardan biyoetanol üretimi çok daha ekonomik olacaktır, çünkü lignoselulozik hammaddeler hem miktarda çok daha fazladır hem de tahıllara göre çok daha ucuzdur. Bu hammaddelerden üretilen biyoetanol “ikinci kuşak biyoetanol” denir ve tahmini olarak bu teknolojiye 2025 yılından sonra geçilmesi hedeflenmektedir. Günümüzde, Amerika Birleşik Devletleri’nde mısır [52], Brezilya’da şeker kamışı ve pancarı [53] ve Avrupa’da buğday [54, 55] biyoetanol üretiminde kullanılan temel hammaddelerdir. Buda bir kere daha göstermektedir ki günümüzde üretilen biyoetanolün neredeyse tamamı tahıl menşelidir. Bu çerçevede, çeşitli tahıllardan dünyadaki biyoetanol üretim potansiyelleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çeşitli tahıllardan dünyadaki biyoetanol üretim potansiyeli, litre/ton [51] (Bioethanol production potential from various crops in the world, litre/ton)

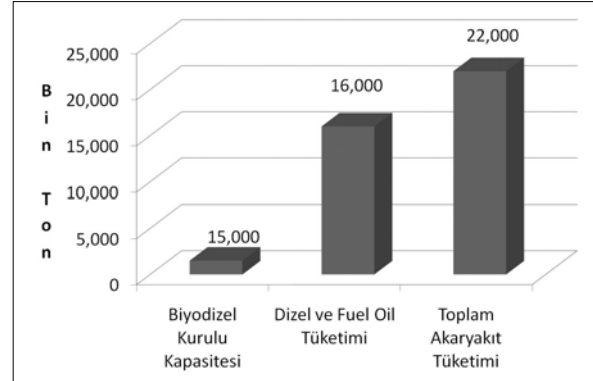
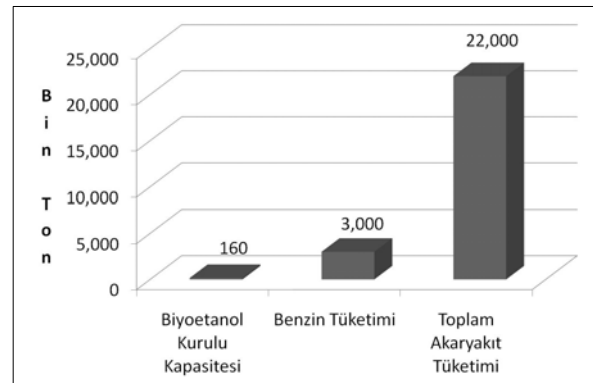
Tahıl	Biyoetanol üretim potansiyeli, litre/ton tahıl
Arpa	250
Mısır	360
Patates	110
Şeker Pancarı	110
Buğday	340

Türkiye’de biyoyakıtlardan enerji üretimi konusunda daha çok atık yağlardan biyodizel üretimi gündemde olmuş ve bu alanda 2000–2005 yılları arasında ciddi yatırımlar ve çalışmalar yapılmıştır. Türkiye’deki kurulu biyodizel kapasitesi, bunun dizel ve fuel oil ile olan karşılaştırmaları Şekil 5’de gösterilmektedir. Biyodizel sektöründeki vergiler ve devlet tarafından bu alanda yapılacak yatırımlara bir sübvansiyon uygulanmaması özel sektör tarafından yapılan yatırımların hızını ne yazık ki kesmiştir. Bir tahıl ambarı olan ülkemizde biyoetanol üretimi konusunda günümüze kadar ciddi bir çalışma yapılmamış ve bu alandaki yatırımlar biyodizel’e göre geride kalmıştır. Ülkemiz kullandığı petrolün neredeyse tamamını ithal etmektedir, yaklaşık %94’ü, bu yüzden benzine doğrudan alternatif olan biyoetanollün üretimi çok büyük önem teşkil etmektedir. Ülkemizdeki kurulu biyoetanol kapasitesi ve bu kapasitenin benzin ve toplam akaryakıt tüketimi ile karşılaştırılması Şekil 6’da gösterilmektedir. Türkiye’de biyoetanol üretimi Avrupa ve Amerika’ya kıyasla oldukça yenidir, ancak son yıllarda özel sektör tarafından yapılan yatırımlar sayesinde üretim kapasitesi büyük ölçüde arttırılmıştır. Günümüzde, Türkiye’de biyoetanol üretimi için kullanılan temel hammadde (substrat) şekerpancarıdır ve biyoetanol üretimi şeker sanayine paralel olarak büyümektedir.

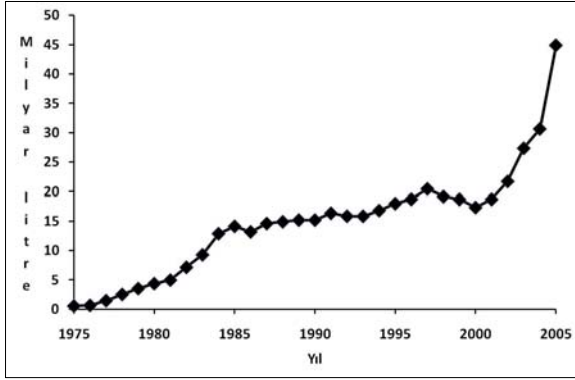
4. KÜRESEL BİYOETANOL PAZARI (GLOBAL BIOETHANOL MARKET)

Dünya genelinde sürekli artan enerji talebi sonucunda, Bkz. Şekil 7, küresel biyoetanol pazarı 2006 yılında 50 milyar litreye ulaşmıştır [58]. Ayrıca, bu miktarın 2020 yılının sonuna kadar 150 milyar litre seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu üretimin, %49,6’sı

Amerika Birleşik Devletleri’nde ve %38.’ü Brezilya’da yapılmıştır [59]. Buda göstermektedir ki bu büyük pazarın neredeyse tamamını, %88’i, bu iki ülke tarafından yönetilmektedir. Günümüzde, biyoetanol dünyadaki biyoyakıt pazarının %90’ını oluşturmaktadır [60]. Önemli biyoetanol üreticisi ülkeler için biyoetanol üretim fiyatları ile benzin fiyatlarının karşılaştırılması Tablo 2’de gösterilmektedir. Dünya’daki ilk 10 biyoetanol üreticisi ülkenin üretim kapasiteleri Tablo 3’de gösterilmektedir. Bu tablodan anlaşılacağı üzere, en

**Şekil 5.** Türkiye’deki dizel, fuel oil tüketimi ve biyodizel kurulu kapasitesi [56] (Comparison of diesel, fuel oil consumption and installed biodiesel production capacities of Turkey)**Şekil 6.** Türkiye’deki akaryakıt tüketimi ve biyoetanol kurulu kapasitesi [57] (Comparison of fuel consumption and installed bioethanol production capacities of Turkey)**Tablo 2.** Çeşitli ülkeler için biyoetanol ve petrol kökenli akaryakıt maliyetlerinin karşılaştırılması, 2004 [61] (Comparison of the price of bioethanol and other petro-based fuels for various countries in 2004)

Ülkeler	Biyoetanol Maliyeti (US\$/litre)				Benzin Maliyeti (US\$/litre)		
	Buğday	Mısır	Şeker Kamışı	Şeker Pancarı	Vergili	Vergisiz	Bölgesel Tedarik Maliyeti
Amerika	0,545	0,289	-	-	0,540	0,384	0,311
Kanada	0,563	0,335	-	-	0,680	0,401	0,311
AB-15	0,573	0,448	-	0,560	1,316	0,406	0,311
Polonya	0,530	0,337	-	0,546	1,200	0,392	0,311
Brezilya	-	-	0,219	-	0,840	0,394	0,311



Şekil 7. Dünyadaki biyoetanol üretimi (1975-2005) [62] Bioethanol production in the world (1975-2005)

Tablo 3. Dünyadaki ilk 10 biyoetanol üreticisi ülke [63] (Top 10 bioethanol producing countries in the world)

Ülke	Yıllık Biyoetanol Üretimi, Milyon litre	Dünyadaki Üretim İçerisindeki %
Amerika Birleşik Devletleri	24 600	49,6
Brezilya	19 000	38,3
Avrupa Birliği	2 159	4,4
Çin	1 840	3,7
Kanada	800	1,6
Tayland	300	0,6
Kolombiya	284	0,6
Hindistan	200	0,4
Avustralya	100	0,2
Türkiye	60	0,1
Dünya Geneli	49 595	100,0

ucuz biyoetanol Brezilya’da şeker kamışından üretilmektedir, 0,219 \$/litre ve bunu 0,289 \$/litre ile Amerika Birleşik Devletleri’ndeki mısırdan biyoetanol üretimi takip etmektedir.

5. TÜRKİYE’DE BİYOETANOL ÜRETİMİ VE POTANSİYELİ (BIOETHANOL PRODUCTION CAPACITY AND POTENTIAL OF TURKEY)

Türkiye, biyoetanol üretiminde dünyadaki ilk 10 ülkeden birisidir. Ancak, günümüzdeki üretim potansiyeli biyoetanolün benzin alternatifi veya katkısı olarak kullanılması durumunda var olacak talebi karşılamaktan çok uzaktır. Türkiye’deki yıllık biyoetanol üretim kapasitesi 2006 yılında 60 milyon litre seviyesindedir ve bu üretim tamamıyla Türkiye Şeker Fabrikaları tarafından karşılanmaktadır. Türkiye Şeker Fabrikalarının 2006 yılı sonu itibarıyla biyoetanol üretim kapasiteleri Tablo 4’de detaylı bir şekilde gösterilmektedir. 2006 yılından 2010 yılına geldiğimizde Türkiye’deki biyoetanol üretiminde ciddi bir artış gözlenmektedir. 2007 yılının sonunda Konya Şeker tarafından Çumra’da açılan 84 milyon litre/yıl kapasiteli tesis [64] ve Tezkim A.Ş. tarafından

2010 yılının Nisan ayında Adana’da açılacak olan 36,5 milyon litre/yıl kapasiteli tesis [65] ile Türkiye’deki biyoetanol üretim kapasitesi 190 milyon litre/yıl seviyesine ulaşacaktır. Ancak, bu yeni toplam kapasite bile Türkiye’nin Avrupa Komisyonu’nun EC

Tablo 4. Türkiye Şeker Fabrikaları’nın biyoetanol üretim kapasiteleri [66] (Bioethanol production capacities of Turkish Sugar Factories)

TÜRKİYE ŞEKER FABRİKALARI	
Fabrika	Nominal Üretim Kapasitesi (litre/gün)
Erzurum	40000
Eskişehir	65000
Turhal	45000
Malatya	40000
Toplam	190000
Yıllık Toplam Üretim Kapasitesi	66,5 Milyon Litre

2003/30 sayılı kararı çerçevesinde benzine katkı olarak %5,75 olarak üretmesi gereken biyoetanolün, 240 milyon litre/yıl, altındadır. Buda bu alanda yapılması gereken yatırımların önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Türkiye’deki yıllık benzin tüketimi ortalama 3 milyon tondur, Bkz. Şekil 6. Bu miktar 4,2 milyar litre benzine eşdeğerdir. 1 litre benzine eşdeğer enerji 1,65 litre biyoetanolde vardır. Bu koşullar altında, Türkiye’nin yıllık benzin tüketimini karşılamak için 6,9 milyar litre biyoetanol gerekmektedir. Dolaylı olarak, E5, %5,75 biyoetanol içeren benzin, üretimi için 240 milyon litre, E10, %10 biyoetanol içeren benzin, üretimi içinse, yaklaşık 420 milyon litre biyoetanolle ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, Türkiye’deki güncel tarımsal üretim oranları ile tahıl menşeli yıllık biyoetanol üretim potansiyelinin hesaplanabilmesi için öncelikle Uluslararası Gıda ve Tarım Organizasyonu’ndan (FAO) Türkiye’deki yıllık tarımsal üretim oranları bulunmuştur. Bu üretim miktarları ile Tablo 1’de verilen çeşitli tahıllardan dünyadaki biyoetanol üretim oranları çarpılarak Türkiye’deki tahıl menşeli yıllık biyoetanol üretim potansiyeli hesaplanmıştır. Ayrıca, E5 ile E10 üretimi için gereken biyoetanol miktarları, hesaplanan üretim potansiyellerine bölünerek, her bir tahıl için, bu miktardaki biyoetanol üretimini karşılamak için gerekli olan hasat yüzdeleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Tablo 5’de gösterilmektedir.

Yapılan çalışmalar, Türkiye’de biyoetanol üretimi açısından en uygun tahılların buğday ve arpa olduğunu göstermektedir. Bu iki tahıl hasadının %100’ünün kullanılması sırası ile yıllık 5,9 ve 1,8 milyar litre biyoetanol üretilebilir. Ancak, günümüzdeki üretim koşulları ile Türkiye’de hiçbir tahıl hasadından, tek başına, yıllık benzin tüketimini

karşılayabilecek miktarda biyoetanol üretilmemektedir. En iyi koşullarda, buğday hasadının tamamının kullanılması durumunda benzin ihtiyacının %90’ı karşılanabilecektir. Ancak, buğday hasadının tamamının kullanılması durumunda Türkiye’de ciddi açlık ve sosyoekonomik sıkıntıların ortaya çıkmasına sebebiyet verecektir.

Avrupa Komisyonunun EC-2003/30 sayılı kararına göre bütün AB ülkelerinde 2020 yılına kadar kullanılan taşımacılık yakıtlarının %5,75’i yenilenebilir kaynaklardan, en büyük payın biyoetanole düşeceği öngörülmektedir, oluşmak zorundadır [67]. Bu oran eğer uygun altyapı olursa %10’a çıkarılacaktır ve bu bütün üye ve aday ülkeler için bu limitlere uymak yasal bir zorunluluk olacaktır. Türkiye, Avrupa Birliği’ne aday bir ülke olduğundan bu koşulları sağlamak zorundadır. Bu yüzden, biyoyakıtların ulaşım altyapısına bütünleşmesi hem sürdürülebilir bir seçenek hem de zamanlama açısından yasa ile bağlayıcı bir zorunluluktur. Bu koşullar altında, Türkiye’de buğday hasadının %4 ve %7’lik kısımları kullanılarak E5 ve E10 üretimi rahatlıkla karşılanabilir.

Türkiye’de gelecekte tahıl menşeli biyoetanol üretimi amaçlanıyorsa bunun için öncelikle tarımsal üretime

uygun ancak kullanılmayan araziler belirlenmelidir ve bu alanlar üzerine enerji tarımı yapılması ulusal bir politika haline getirilmelidir. Türkiye’de kullanılmayan tarıma uygun arazinin 1,9 milyon hektar olduğu tahmin edilmektedir [68, 69]. Türkiye’de kullanılmayan tarımsal araziler üzerinde Tablo 5’de listelenen beş tahılın sadece bir tanesinin ekilmesi veya bu beş tahılın eşit oranda, %20, ekilmesi durumunda üretilebilecek biyoetanol miktarları bu çalışmada hesaplanmıştır. Bunun için, önce, bu beş değişik tahılın rekolteleri, ton ürün/hektar, literatürden bulunmuş, müfret ekimde Türkiye’deki kullanılmayan tüm tarımsal alanlar, 1,9 milyon hektar ve bu beş tahılın eşit olarak ekilmesi durumunda 0,38 milyon hektar arazi üzerinde teorik olarak üretilebilecek yıllık tahıl miktarları hesaplanmıştır. Sonra bu tahıllardan üretilebilecek olan yıllık biyoetanol miktarları Tablo 1’de verilen biyoetanol üretim potansiyelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Son olarak, bu iki farklı orandaki üretim koşulu altında potansiyel olarak üretilebilecek biyoetanolün yıllık benzin ihtiyacını karşılama oranları, Türkiye’nin yıllık 6,9 milyar litre biyoetanol eşdeğeri olan benzin tüketimine bölünerek hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Tablo 6’da gösterilmektedir.

Tablo 5. Türkiye’de üretilen çeşitli tahılların biyoetanol üretim potansiyelleri ve bu tahıllardan E5 ve E10 üretim için gerekli olan miktarlar (Bioethanol production from various crops in Turkey and adequacy of these crops for E5 and E10 production)

Tahıl	Tahıl Üretimi 2007, Bin Ton [70]	Biyoetanol Üretim Potansiyeli, Milyon litre	E5 üretimi için kullanılması gereken tahıl hasadı %	E10 üretimi için kullanılması gereken tahıl hasadı %
Arpa	7307	1827	13	23
Mısır	3535	1273	19	33
Patates	4246	467	52	90
Şeker Pancarı	12415	1366	18	31
Buğday	17234	5860	4	7

Tablo 6 Türkiye’deki tarıma uygun fakat kullanılmayan arazilerde biyoetanol üretim potansiyeli (Bioethanol production potential in unused land proper for cultivation)

Tahıl	Rekolte, Ton/hektar [71]	Biyoetanol Üretim Potansiyeli, Ton		Benzin İhtiyacını Karşılama Oranı, %	
		Hasadının %100 kullanılırsa	Hasadının %20 kullanılırsa	Hasadının %100 kullanılırsa	Hasadının %20 kullanılırsa
Arpa	2,204	1047	209	15	3
Mısır	6,838	4677	935	68	14
Patates	27,642	5777	1155	84	17
Şeker Pancarı	41,539	8682	1736	126	25
Buğday	21,282	13748	2750	200	40
Toplam		-	6786	494	99

Bu koşullar altında, bu arazilerde %100 şeker pancarı ekimi ile yıllık 8,6 milyar litre biyoetanol, %100 buğday ekimi ile ise yıllık 13,7 milyar litre biyoetanol üretilebilecektir. Bu miktardaki üretimler ile Türkiye’nin yıllık benzin ihtiyacının 1,5 – 2,5 katı rahatlıkla karşılanabilecektir. Eğer üretim eşit oranda bu tahıllara dağıtılsa, %20 oranında, benzin ihtiyacının neredeyse tamamı, %99’u, karşılanabilmektedir. Buda göstermektedir ki, biyoetanol üretimi için Türkiye’de, Amerika’da mısır ve Brezilya’da şeker kamışı olduğu gibi, tek bir enerji tahılının belirlenmesi daha faydalı olacaktır. Tablo 6’dan anlaşılacağı üzere, Avrupa’daki diğer ülkeler gibi Türkiye’de biyoetanol üretimi için en uygun tahıl buğday olacaktır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Türkiye’nin 2010 yılının ortası itibari ile kurulu biyoetanol üretim kapasitesi yıllık 190 milyon litre seviyesine ulaşacaktır. Bu çalışmada bulunan sonuçlara göre Türkiye’deki şu anki tarımsal üretim kapasitesi ile hiçbir tahıldan Türkiye’nin yıllık benzin ihtiyacını karşılayacak kadar biyoetanol üretilememektedir, zaten bu miktarda bir üretim için kurulu kapasite mevcut değildir. Gerekli olan bu altyapı yatırımları yapılsa bile bunun için ihtiyaç duyulacak olan tahılların üretimi ve kullanımı günümüzdeki koşullarda açlık ve başka sosyoekonomik problemleri ortaya çıkaracaktır. Ancak, Türkiye’nin aday olduğu Avrupa Birliği’nin EC-2003/30 sayılı bağlayıcı kararına göre ülkedeki şu anki tarımsal üretim kapasitesi ile buğday hasadının %4 ve %7’lik kısımları kullanılarak E5 ve E10 üretimi mümkündür. Türkiye’nin benzin ihtiyacının tamamının biyoetanol ile karşılanması ancak kullanılmayan tarımsal araziler üzerinde, toplam 1.9 milyon hektar, enerji tarımı yapılarak mümkün olabilecektir. Bu arazilerde sadece buğday veya şeker pancarı ekimi yapılarak, sırasıyla yıllık 13.7 ve 8.7 milyar litre biyoetanol üretilerek, Türkiye’nin yıllık benzin ihtiyacı rahatlıkla karşılanabilecektir.

Sonuç olarak, kullandığı petrolün neredeyse tamamını, %94’ünü, ithal eden Türkiye için biyoetanol üretimi ve bu alanda yapılacak yatırımlar ulusal çıkarlar açısından çok büyük önem teşkil etmektedir. Türkiye’de Avrupa Birliği’nin yaptığı gibi 2020 yılına kadar toplam enerji tüketiminin %20’sini yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşturması yönünde hedefler koymalıdır. Ulusal politika olarak rüzgar, güneş, jeotermal ve hidroelektrik enerjisi üzerine yapılan yatırımlar gibi, biyoenerji konusunda da yapılacak olan yatırımlar sürekli bir şekilde teşvik edilmeli ve bu alanda ulusal bir politika oluşturulmalıdır.

7. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışmanın önemli bir kısmı Yrd. Doç. Dr. Mehmet Melikoğlu’nun Manchester Üniversitesi’nde TÜBİTAK-BİDEB yurtdışı doktora bursiyeri olarak yaptığı çalışmaların öngörüsü ile yapılmıştır.

8. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Zhu, S., Wu, Y., Yu, Z., Zhang, X., Wang, C., Yu, F., Jin, S., Zhao, Y., Tu, S., Xue, Y., "Simultaneous Saccharification and Fermentation of Microwave/Alkali Pre-treated Rice Straw to Ethanol", **Biosystems Engineering**, 92, 229-235, 2005.
2. Anonim, **Energy use per capita**, World Bank, http://www.google.com/publicdata?ds=wb-wdi&met=eg_use_pcap_kg_oe&tdim=true&dl=en&hl=en&q=world+energy+consumption#met=eg_use_pcap_kg_oe&tdim=true, 2010.
3. Anonim, **Energy Consumption per Capita**, Wikimedia Commons, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Energy-consumption-per-capita-2003.png>, 2010.
4. Anonim, **World Per Capita Total Primary Energy Consumption, 1980-2006**, Energy Information Administration, www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/table1.c.xls, 2010.
5. Shafiee, S., Topal, E., "When will fossil fuel reserves be diminished?", **Energy Policy**, 37, 181-189, 2009.
6. Barbir, F., Veziroglu, T.N., Plass Jr, H.J., "Environmental damage due to fossil fuels use", **International Journal of Hydrogen Energy**, 15, 739-749, 1990.
7. Schlamadinger, B., Johns, T., Ciccicarese, L., Braun, M., Sato, A., Senyaz, A., Stephens, P., Takahashi, M., Zhang, X., "Options for including land use in a climate agreement post-2012: improving the Kyoto Protocol approach", **Environmental Science & Policy**, 10, 295-305, 2007.
8. Gross, R., Leach, M., Bauen, A., "Progress in renewable energy", **Environment International**, 29, 105-122, 2003.
9. Ong, Y.K., Bhatia, S., "The current status and perspectives of biofuel production via catalytic cracking of edible and non-edible oils", **Energy**, 35, 111-119, 2010.
10. Frondel, M., Peters, J., "Biodiesel: A new Oildorado?", **Energy Policy**, 35, 1675-1684, 2007.
11. Prasad, S., Singh, A., Joshi, H.C., "Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues", **Resources, Conservation and Recycling**, 50, 1-39, 2007.
12. Hahn-Hägerdal, B., Galbe, M., Gorwa-Grauslund, M.F., Lidén, G., Zacchi, G., "Bio-ethanol - the fuel of tomorrow from the residues

- of today", **Trends in Biotechnology**, 24, 549-556, 2006.
13. Malça, J., Freire, F., "Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bioethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation", **Energy**, 31, 3362-3380, 2006.
 14. Demirbas, A., "Progress and recent trends in biofuels", **Progress in Energy and Combustion Science**, 33, 1-18, 2007.
 15. Demirbas, A., "Biofuels securing the planet's future energy needs", **Energy Conversion and Management**, 50, 2239-2249, 2009.
 16. Jonsson, J.Å., **Saab BioPower: Daha Yeşil Bir Geleceğe Doğru**, http://gmmediaturkey.com/news/news_detail.asp?newsID=527&customerID=3, 2006.
 17. Liu, R., Li, J., Shen, F., "Refining bioethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilized yeast fermentation", **Renewable Energy**, 33, 1130-1135, 2008.
 18. Anonim, **Biyoetanol Çalışmaları**, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/03-biyoetanol/be_uretim.html, 2010.
 19. Harrison, M.A., Moselio, S., "Beer/Brewing", **Encyclopedia of Microbiology**, Academic Press, Oxford, 23-33, 2009.
 20. Guasch-Jané, M.R., Andrés-Lacueva, C., Jáuregui, O., Lamuela-Raventós, R.M., "First evidence of white wine in ancient Egypt from Tutankhamun's tomb", **Journal of Archaeological Science**, 33, 1075-1080, 2006.
 21. Leegood, R.C., William, J.L., Lane, M.D., "Photosynthesis", **Encyclopedia of Biological Chemistry**, Elsevier, New York, 330-335, 2004.
 22. Bergthaller, W., Hollmann, J., Johannis, P.K., "Starch", **Comprehensive Glycoscience**, Elsevier, Oxford, 579-612, 2007.
 23. Jarvis, M.C., Brian, T., "PRIMARY PRODUCTS | Cellulose", **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, Elsevier, Oxford, 865-871, 2003.
 24. Amutha, R., Gunasekaran, P., "Production of ethanol from liquefied cassava starch using co-immobilized cells of *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces diastaticus*", **Journal of Bioscience and Bioengineering**, 92, 560-564, 2001.
 25. Demirbas, A., **Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass**, Energy Sources, Taylor & Francis Ltd, 327-337, 2005.
 26. Ben-Gera, I., Rokey, G.J., Smith, O.B., "Extrusion cooking of grains for ethanol production", **Journal of Food Engineering**, 2, 177-187, 1983.
 27. Arifeen, N., Kookos, I.K., Wang, R., Koutinas, A.A., Webb, C., "Development of novel wheat biorefining: Effect of gluten extraction from wheat on bioethanol production", **Biochemical Engineering Journal**, 43, 113-121, 2009.
 28. Kaparaju, P., Serrano, M., Thomsen, A.B., Kongjan, P., Angelidaki, I., "Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept", **Bioresource Technology**, 100, 2562-2568, 2009.
 29. Botella, C., Diaz, A.B., Wang, R., Koutinas, A., Webb, C., "Particulate bioprocessing: A novel process strategy for biorefineries", **Process Biochemistry**, 44, 546-555, 2009.
 30. Talebna, F., Karakashev, D., Angelidaki, I., "Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation", **Bioresource Technology**, 101, 4774-4753, 2010.
 31. Xu, Y., Wang, R.H., Koutinas, A.A., Webb, C., "Microbial biodegradable plastic production from a wheat-based biorefining strategy", **Process Biochemistry**, 45, 153-163, 2010.
 32. Turov, Y.Y., "Petrochemical production of Japan", **Chemistry and Technology of Fuels and Oils**, 1, 160-164, 1965.
 33. Demirbas, A., "Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections", **Energy Conversion and Management**, 49, 2106-2116, 2008.
 34. Hilton, B., Duddy, B., "The effect of E20 ethanol fuel on vehicle emissions", **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, 223, 1577-1586, 2009.
 35. Clarke, Z., Enna, S.J., David, B.B., "Ethanol", **xPharm: The Comprehensive Pharmacology Reference**, Elsevier, New York, 1-5, 2007.
 36. Sarkar, D.K., George FinkAssociate Editors: Bruce, M., Kloet, E.R.d., Robert, R., George, C., Andrew, S., Noel, R., Ian, C., Giora, F., "Ethanol and Endogenous Opioids", **Encyclopedia of Stress**, Academic Press, New York, 955-959, 2007.
 37. Demirbas, A., "Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review", **Applied Energy**, 86, S108-S117, 2009.
 38. Solomon, B.D., Barnes, J.R., Halvorsen, K.E., "Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy", **Biomass and Bioenergy**, 31, 416-425, 2007.
 39. Thomas, V., Kwong, A., "Ethanol as a lead replacement: phasing out leaded gasoline in Africa", **Energy Policy**, 29, 1133-1143, 2001.
 40. Hsieh, W.-D., Chen, R.-H., Wu, T.-L., Lin, T.-H., "Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels", **Atmospheric Environment**, 36, 403-410, 2002.
 41. Song, C.-L., Zhou, Y.-C., Huang, R.-J., Wang, Y.-Q., Huang, Q.-F., Lü, G., Liu, K.-M., "Influence of ethanol-diesel blended fuels on

- diesel exhaust emissions and mutagenic and genotoxic activities of particulate extracts", **Journal of Hazardous Materials**, 149, 355-363, 2007.
42. González-García, S., Gasol, C.M., Gabarrell, X., Rieradevall, J., Moreira, M.T., Feijoo, G., "Environmental profile of ethanol from poplar biomass as transport fuel in Southern Europe", **Renewable Energy**, In Press, Corrected Proof, 2009.
 43. Topgöl, T., Yücesu, H.S., Çinar, C., Koca, A., "The effects of ethanol-unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions", **Renewable Energy**, 31, 2534-2542, 2006.
 44. Yu, S., Tao, J., "Economic, energy and environmental evaluations of biomass-based fuel ethanol projects based on life cycle assessment and simulation", **Applied Energy**, 86, S178-S188, 2009.
 45. Yu, S., Tao, J., "Simulation-based life cycle assessment of energy efficiency of biomass-based ethanol fuel from different feedstocks in China", **Energy**, 34, 476-484, 2009.
 46. Yunoki, S., Saito, M., "A simple method to determine bioethanol content in gasoline using two-step extraction and liquid scintillation counting", **Bioresource Technology**, 100, 6125-6128, 2009.
 47. Lal, R., "Soil quality impacts of residue removal for bioethanol production", **Soil and Tillage Research**, 102, 233-241, 2009.
 48. Hammond, G.P., Kallu, S., McManus, M.C., "Development of biofuels for the UK automotive market", **Applied Energy**, 85, 506-515, 2008.
 49. Qiu, H., Huang, J., Yang, J., Rozelle, S., Zhang, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., "Bioethanol development in China and the potential impacts on its agricultural economy", **Applied Energy**, 87, 76-83, 2010.
 50. Anonim, **Carbon Cycle**, http://blufiles.storage.live.com/y1pT8nKZoSDh q0Qr_8AVhQxgwioJQXTFkqGAB4hf1E1wUw QePgeP3UtXYulu2P5RYHvEhW83eVT7Ow, 2010.
 51. Balat, M., Balat, H., Öz, C., "Progress in bioethanol processing", **Progress in Energy and Combustion Science**, 34, 551-573, 2008.
 52. Hettinga, W.G., Junginger, H.M., Dekker, S.C., Hoogwijk, M., McAloon, A.J., Hicks, K.B., "Understanding the reductions in US corn ethanol production costs: An experience curve approach", **Energy Policy**, 37, 190-203, 2009.
 53. Dias, M.O.S., Ensinas, A.V., Nebra, S.A., Maciel Filho, R., Rossell, C.E.V., Maciel, M.R.W., "Production of bioethanol and other bio-based materials from sugarcane bagasse: Integration to conventional bioethanol production process", **Chemical Engineering Research and Design**, 87, 1206-1216, 2009.
 54. Koutinas, A.A., Arifeen, N., Wang, R., Webb, C., "Cereal-based biorefinery development: Integrated enzyme production for cereal flour hydrolysis", **Biotechnology and Bioengineering**, 97, 61-72, 2007.
 55. Wang, R., Godoy, L.C., Shaarani, S.M., Melikoglu, M., Koutinas, A., Webb, C., "Improving wheat flour hydrolysis by an enzyme mixture from solid state fungal fermentation", **Enzyme and Microbial Technology**, 44, 223-228, 2009.
 56. Anonim, **Türkiye’de Biyoyakıtlar**, www.albiyobir.org.tr/biyoyakitlar01.htm, 2010.
 57. Anonim, **Türkiye’nin Biyoetanól Üretim Projeksiyonu**, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/03-biyoetanól/be_Turkiye.html, 2010.
 58. Mathews, J.A., "Biofuels: What a Biopact between North and South could achieve", **Energy Policy**, 35, 3550-3570, 2007.
 59. Pohit, S., Biswas, P.K., Kumar, R., Jha, J., "International experiences of ethanol as transport fuel: Policy implications for India", **Energy Policy**, 37, 4540-4548, 2009.
 60. Mabee, W.E., Saddler, J.N., "Bioethanol from lignocellulosics: Status and perspectives in Canada", **Bioresource Technology**, In Press, Corrected Proof, 2009.
 61. Anonim, **Biyoetanól Fiyat Analizi**, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/03-biyoetanól/be_fiyat.html, 2010.
 62. Anonim, **Dünya ve AB Biyoetanól Üretimi**, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/biyoenerji/03-biyoetanól/be_dunya_AB.html, 2010.
 63. Wikipedia-Contributors, **Ethanol fuel**, Wikipedia, The Free Encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol_fuel, 2009.
 64. Anonim, **Biyoetanól ve Biyoetanól Üretimi**, Konya Şeker, <http://www.konyaseker.com.tr/?sayfa=icerik&pid=208&text=208>, 2010.
 65. Anonim, **Türkiye’nin İlk Üç Biyoetanól Üretim Tesislerinden Biri Olan Tezkim, Açılış için Başbakan Erdoğan’ı Bekliyor**, Haberler.com, <http://www.haberler.com/turkiye-nin-ilk-uc-biyoetanól-uretim-tesislerinden-haberi/>, 2010.
 66. Ar, F., **Şeker Sanayi ve Biyoetanól Üretimi**, Pankobirlik, www.albiyobir.org.tr/files/img.../e06-1008-Panko-Birlik-FigenAR.pp, 2006.
 67. Sobrino, F.H., Monroy, C.R., "Critical analysis of the European Union directive which regulates the use of biofuels: An approach to the Spanish

- case", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 13, 2675-2681, 2009.
68. Afacan, T., **Türkiye'de Biyoyakıtların Gelişimi, Uygulamalar, Sorunlar ve Öneriler:**, Alternatif Enerji ve Biyodizel Üreticileri Birliği Derneđi (ALBİYOBİR), http://dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/tam_erafacan.pdf, 2010.
69. Yetkin, A.E., **Türkiye'de Tarım Sektöründe Üretimin Gelişmesi**, http://www.gencmusiad.org.tr/GM/Icerik.aspx?VERSION=112&TIP=SEB&ALT_TIP=SGS&N=3072, 2010.
70. Anonim, **FAOSTAT, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS**, <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>, 2009.
71. Anonim, **FAOSTAT - Yields of Different Crops for Turkey**, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>, 2010.