

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARIMA DAYALI ALTERNATİF YAKIT
KAYNAKLARINDAN BİYOETANOL VE TÜRKİYE İÇİN
EN UYGUN BİYOETANOL HAMMADDESİ SEÇİMİ**

Endüstri Müh. Bahadır BULUT

**FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	12
2. BİYOETANOLÜN TANIMI, GELİŞİM SÜRECİ VE ÇEVRESEL ETKİSİ	14
2.1 Biyoetanolün Tanımı	15
2.2 Küresel Ölçekte Biyoetanol Üretimi	17
2.3 Biyoetanol Üretiminin İzlediği Süreç	20
2.3.1 Pazarın Gelişimi	21
2.3.2 Üretim Teknolojisinin Gelişimi.....	23
2.3.3 Türkiye’deki Süreç	24
2.4 Çevresel Bakış.....	25
2.4.1 Biyoetanolün Çevresel Etkisi	25
2.4.2 Uluslararası Çevresel Önlemler.....	30
3. BİYOETANOLÜN ÖZELLİKLERİ, HAMMADDELERİ VE TÜRKİYE’NİN TAHMİNİ BİYOETANOL İHTİYACI.....	32
3.1 Biyoetanolün Fiziksel, Kimyasal ve Termal Özellikleri	32
3.2 Biyoetanolün ve Benzinin Yakıt Olarak Özelliklerinin Karşılaştırılması	35
3.3 Biyoetanolün Yakıt Olarak Kullanılması.....	37
3.3.1 Biyoetanolün Yüksek Karışım Oranlarında Yakıt Olarak Kullanılması	38
3.3.2 Biyoetanolün Düşük Karışım Oranlarında Kullanılması.....	40
3.3.3 Biyoetanolün Dizel Yakıtı ile Karışım Olarak Kullanılması	40
3.4 Biyoetanolün Dağıtımı ve Depolanması.....	41
3.4.1 Biyoetanolün Dağıtımı.....	42
3.4.2 Biyoetanolün Depolanması	45
3.5 Türkiye’de Biyoetanol Üretimi İçin Kullanılabilecek Tarımsal Ürünler	47
3.5.1 Şeker Pancarı.....	51
3.5.2 Buğday	60
3.5.3 Patates	67
3.5.4 Arpa	73
3.5.5 Mısır.....	79

3.5.6	Hammaddelerin Birbirlerine Göre Özellikleri	85
3.6	Türkiye'nin Benzin Tüketimi Miktarı ve Tahmini Biyoetanol İhtiyacı	88
4.	BİYOETANOL ÜRETİMİ İÇİN EN UYGUN HAMMADDENİN SEÇİMİ.....	93
4.1	Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayılar.....	95
4.2	Bulanık AHP ile Biyoetanol Üretimi İçin En Uygun Hammadde Seçimi.....	98
4.2.1	Bulanık AHP Algoritması	98
4.2.2	Hammadde Seçimi.....	100
4.2.2.1	Kriterlerin ve Kriterler İçin Hammaddelerin Değerlendirilmesi.....	104
4.2.2.2	Önem Ağırlıklarının Birleşik Özeti	117
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	122
	KAYNAKLAR.....	125
	EKLER	129
	Ek 1 Türkiye'de biyoetanol üretimi için en uygun hammadde türünün seçilmesine yönelik anket çalışması	130
	ÖZGEÇMİŞ.....	145

SİMGE LİSTESİ

d	Bulanık sayılar kesişim noktasının apsisi
Ex	Hacimsel olarak % x kadar biyoetanol içeren biyoetanol-benzin karışımı
g_i	Amaç
l	Üçgen bulanık sayıda en küçük muhtemel değer
m	Üçgen bulanık sayıda en beklenen değer
M	Üçgen bulanık sayı
$M^{l(y)}$	Üçgen bulanık sayının sol taraf ifadesi
$M^{r(y)}$	Üçgen bulanık sayının sağ taraf ifadesi
$\mu_{(x)}$	Üyelik fonksiyonu
R	Gerçek sayılar kümesi
S_i	i . nesne için bulanık büyüklük değeri
u	Üçgen bulanık sayıda en büyük muhtemel değer
V	Olabilirlik derecesi
W	Ağırlık vektörü

KISALTMA LİSTESİ

A	Arpa
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ATD	Arz Talep Durumu
B	Buğday
BÖ	Biyoetanol Özellikleri
BÜTİÖ	Biyoetanol Üretiminde Tecrübe ve İşleme Özelliği
BV	Biyoetanol Verimi
DDGS	Distillers Dried Grains with Solubles
DS	Depolanabilme Süreleri
ET	Enerji Tüketimi
ETBE	Etil Tersiyer Bütil Eter
EYT	Esnek Yakıtlı Taşıt
GE	Girdi Enerji
GJ	Giga Joule
HBV	Hektar Başına Verim
HC	Hidrokarbon
HF	Hammadde Fiyatı
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
M	Mısır
MJ	Mega Joule
MÖ	Mali Özellikler
MTBE	Metil Tersiyer Bütil Eter
NMHC	Metansız Hidrokarbon
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
P	Patates
PETDER	Petrol Sanayi Derneği
RFA	Renewable Fuels Association
RFG	Reformulated Gasoline (Tekrar Formüle Edilmiş Benzin)
ŞP	Şeker Pancarı
TFN	Triangular Fuzzy Number (Üçgen Bulanık Sayı)
THC	Toplam Hidrokarbon
TMO	Toprak Mahsulleri Ofisi
TÖ	Tarımsal Özellikler
TÜM	Türkiye'deki Üretim Miktarları
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UOB	Uçucu Organik Bileşikler
ÜFE	Üretici Fiyatları Endeksi
YÜ	Yan Ürünler

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının yenilenebilirliğine göre sınıflandırılması	14
Şekil 2.2 Biyoetanol kullanım türleri (milyar litre) (Berg, 2004)	17
Şekil 2.3 Dünya biyoetanol üretimi (milyar litre) (Berg, 2004).....	18
Şekil 3.1 Biyoetanol dağıtım sisteminin yapısı (Reynolds, 2000)	43
Şekil 3.2 Biyoetanol depolama tankı örnekleri (Reynolds, 2000).....	46
Şekil 3.3 Türkiye'nin 2005 yılı başlıca potansiyel biyoetanol hammaddesi üretim miktarları	47
Şekil 3.4 Biyoetanol üretimi sürecinde kullanılan hammaddeler, işlemler ve yan ürünler	48
Şekil 3.5 Şeker pancarından biyoetanol üretimi için iş akış diyagramı	50
Şekil 3.6 Yaş öğütme iş akış diyagramı (Mısır)	52
Şekil 3.7 Kuru öğütme iş akış diyagramı	53
Şekil 3.8 Yıllar itibari ile Türkiye'nin şeker pancarı ekim alanı ve üretim miktarı	55
Şekil 3.9 Yıllar itibari ile Türkiye'de şeker pancarı fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları	60
Şekil 3.10 Yıllar itibari ile Türkiye'nin buğday ekim alanı ve üretim miktarı	62
Şekil 3.11 Yıllar itibari ile Türkiye'de yemlik buğday fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları	66
Şekil 3.12 Yıllar itibari ile Türkiye'nin patates ekim alanı ve üretim miktarı.....	68
Şekil 3.13 Yıllar itibari ile Türkiye'de patates fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları	73
Şekil 3.14 Yıllar itibari ile Türkiye'nin arpa ekim alanı ve üretim miktarı	74
Şekil 3.15 Yıllar itibari ile Türkiye'de arpa fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları	79
Şekil 3.16 Yıllar itibari ile Türkiye'nin mısır ekim alanı ve üretim miktarı.....	81
Şekil 3.17 Yıllar itibari ile Türkiye'de mısır fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları	85
Şekil 3.18 Hammaddelerin bazı özellikleri ve maruz kaldıkları bazı işlemler	89
Şekil 3.19 Yıllar itibari ile Türkiye'nin benzin türleri tüketim oranları	91
Şekil 3.20 Yıllar itibari ile Türkiye'nin toplam benzin tüketim miktarları.....	92
Şekil 4.1 Örnek bir üyelik derecelendirilmesi.....	95
Şekil 4.2 Bir üçgen bulanık sayı, M (Kahraman vd., 2004).....	96
Şekil 4.3 M_1 ve M_2 'nin kesişimi	100
Şekil 4.4 En uygun hammadde seçimi için oluşturulan hiyerarşi.....	102
Şekil 4.5 Hammaddelerin sonuç önem ağırlıkları	120
Şekil 4.6 Her bir hammaddenin ana kriterler açısından duyarlılıkları.....	121
Şekil 4.7 Her bir hammaddenin alt kriterler açısından duyarlılıkları	121

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Çeşitli ülkelerin 2005 yılı biyoetanol üretimi (milyon litre) (RFA, 2006)	21
Çizelge 2.2 Biyoetanol-benzin karışımının emisyon değerlerine etkisi (IEA, 2004).....	27
Çizelge 2.3 Ohio’da yapılan çalışmadan elde edilen emisyon değerleri (gr/km).....	28
Çizelge 3.1 Biyoetanolün fiziksel özellikleri	34
Çizelge 3.2 Biyoetanolün kimyasal özellikleri.....	34
Çizelge 3.3 Biyoetanolün termal özellikleri.....	35
Çizelge 3.4 Biyoetanol ve benzinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması (Wyman, 1996)	36
Çizelge 3.5 Türkiye’de şeker pancarı ekim alanları, üretim miktarları ve verimi	54
Çizelge 3.6 Türkiye’de yaklaşık şeker pancarı kullanım miktarları.....	56
Çizelge 3.7 Çeşitli kaynaklarda yer alan şeker pancarı için biyoetanol verimleri	57
Çizelge 3.8 Şeker pancarı hammaddesi için bazı değerlerin özeti	58
Çizelge 3.9 Yıllar itibari ile Türkiye’deki şeker pancarı alım fiyatları.....	59
Çizelge 3.10 Türkiye’de buğday ekim alanları, üretim miktarları ve verimi.....	61
Çizelge 3.11 Türkiye’de buğday talebi ve üretim miktarları	62
Çizelge 3.12 Çeşitli kaynaklarda yer alan buğday için biyoetanol verimleri.....	64
Çizelge 3.13 Buğday hammaddesi için bazı değerlerin özeti	65
Çizelge 3.14 Yıllar itibari ile Türkiye’deki yemlik buğday fiyatları.....	65
Çizelge 3.15 Türkiye’de patates ekim alanları, üretim miktarları ve verimi	68
Çizelge 3.16 Türkiye’de patates tüketimi ve üretim miktarları.....	69
Çizelge 3.17 Çeşitli kaynaklarda yer alan patates için biyoetanol verimleri	70
Çizelge 3.18 Patates hammaddesi için bazı değerlerin özeti	71
Çizelge 3.19 Yıllar itibari ile Türkiye’deki patates fiyatları	72
Çizelge 3.20 Türkiye’de arpa ekim alanları, üretim miktarları ve verimi	74
Çizelge 3.21 Türkiye’de arpa talebi ve üretim miktarları.....	75
Çizelge 3.22 Çeşitli kaynaklarda yer alan arpa için biyoetanol verimleri	76
Çizelge 3.23 Arpa hammaddesi için bazı değerlerin özeti.....	77
Çizelge 3.24 Yıllar itibari ile Türkiye’deki arpa fiyatları	78
Çizelge 3.25 Türkiye’de mısır ekim alanları, üretim miktarları ve verimi	80
Çizelge 3.26 Türkiye’de mısır tüketimi ve üretim miktarları	81
Çizelge 3.27 Çeşitli kaynaklarda yer alan mısır için biyoetanol verimleri	82
Çizelge 3.28 Mısır hammaddesi için bazı değerlerin özeti	83
Çizelge 3.29 Yıllar itibari ile Türkiye’deki mısır fiyatları.....	84
Çizelge 3.30 Hammadde karakteristiklerinin özeti	87
Çizelge 3.31 Türkiye’nin yıllar itibari ile benzin tüketim miktarları (ton).....	90
Çizelge 4.1 Ana kriterlerin birbirlerine göre değerlendirilmesi	104
Çizelge 4.2 Tarımsal özellikler alt kriterlerinin değerlendirilmesi.....	105
Çizelge 4.3 Biyoetanol özellikleri alt kriterlerinin değerlendirilmesi	105
Çizelge 4.4 Mali özellikler alt kriterlerinin değerlendirilmesi	106
Çizelge 4.5 Türkiye’deki üretim miktarları açısından hammaddelerin değerlendirilmesi	107
Çizelge 4.6 Depolanabilme süreleri açısından hammaddelerin değerlendirilmesi.....	108
Çizelge 4.7 Hektar başına verim açısından hammaddelerin değerlendirilmesi	109
Çizelge 4.8 Girdi enerji açısından hammaddelerin değerlendirilmesi.....	110
Çizelge 4.9 Biyoetanol verimi açısından hammaddelerin değerlendirilmesi.....	111
Çizelge 4.10 Yan ürünler açısından hammaddelerin değerlendirilmesi	112
Çizelge 4.11 Biyoetanol üretiminde tecrübe ve işleme özelliği açısından hammaddelerin değerlendirilmesi.....	113
Çizelge 4.12 Hammadde fiyatı açısından hammaddelerin değerlendirilmesi.....	114
Çizelge 4.13 Enerji tüketimi açısından hammaddelerin değerlendirilmesi	115
Çizelge 4.14 Arz talep durumu açısından hammaddelerin değerlendirilmesi	116

Çizelge 4.15 Tarımsal özellik alt kriterleri önem ağırlıkları özeti ve birleşimi	117
Çizelge 4.16 Biyoetanol özellikleri alt kriterleri önem ağırlıkları özeti ve birleşimi.....	118
Çizelge 4.17 Mali özellikler alt kriterleri önem ağırlıkları özeti ve birleşimi.....	119
Çizelge 4.18 Ana kriterler için önem ağırlıkları özeti ve birleşimi	119
Çizelge 5.1 Biyoetanolün potansiyel avantaj ve dezavantajları	122

ÖNSÖZ

Ulaştırma sektörü günümüzde yenilenemeyen enerji kaynaklarından biri olan petrol tüketiminde ön sırada yer almaktadır. Aynı zamanda sera etkisi yapan gaz emisyonlarında da ulaştırma sektörü önemli rol oynamaktadır. Gelecek 15 yıl içerisinde dünya üzerindeki araç sayısının iki katına çıkacağı tahmini göz önüne alındığında, enerji temini ve çevre ile ilgili önemli sorunların ortaya çıkacağı kolaylıkla görülebilir. Türkiye'nin petrol ihtiyacının yaklaşık %90'ını ithal ederek karşıladığı düşünüldüğünde konunun enerji güvenliği kısmı da ortaya çıkmaktadır. Petrole olan bu bağımlılığın azaltılması için gerçekçi, verimli ve sürdürülebilir politikaların oluşturulması gerekmektedir.

Petrolün ilerde ihtiyaca cevap veremeyecek konuma gelecek olmasına, enerji güvenliği ve çevre ile ilgili olan endişelere yönelik olarak geliştirilen çeşitli stratejiler değerlendirilip uygulamaya geçirilmektedir. Bu stratejiler içinde biyoetanol yeni ve hızla yaygınlaşan bir konuma sahip seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyoetanol, daha çok tarımsal ürünlerden ve değişik kimyasal yöntemler aracılığı ile üretilen benzine alternatif veya benzinle karışım halinde kullanılabilen, yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir.

Biyoetanolün yakıt olarak kullanılması ile enerji kaynaklarında çeşitliliğin ve enerji güvenliğinin sağlanması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, çevreye verilen zararın azaltılması, özellikle sera etkisi yapan gaz emisyon değerlerinin düşürülmesi ve tarımsal kesim için bir pazar ve işgücü oluşturulması gibi yararlar elde edilebilmektedir. Biyoetanolün bu etkileri göz önüne alındığında son yıllarda biyoetanol üzerine olan yoğun ilginin nedenleri de anlaşılabilir. Geçtiğimiz 10 yıl içerisinde dünya üzerindeki biyoetanol üretimi ikiye katlanmıştır ve gelecek 10 yıl içinde üretimin yine ikiye katlanacağı tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada biyoyakıt türlerinden biyoetanol ele alınmıştır. Çalışmada biyoetanol üretiminin gelişim sürecinden, çevresel etkisinden, yakıt olarak özelliklerinden, Türkiye'de biyoetanol üretimi için kullanılabilecek hammaddelerden bahsedilmiştir. Çalışmanın son kısmında Türkiye için biyoetanol üretiminde kullanılabilecek en uygun hammadde seçimi çalışması yapılmıştır.

Bu çalışma için beni teşvik eden değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Hayri BARAÇLI'ya öncelikle teşekkür ederim. Çalışmam için kaynak bulmamda bana yardımını esirgemeyen sevgili arkadaşım Cihangir YURTSEVER'e, anlayışları ve sevgileri ile beni devamlı destekleyen aileme de ayrıca teşekkür ederim.

ÖZET

Dünya üzerinde biyoetanol kullanımı konusuna olan ilgi giderek artmaktadır ve biyoetanolin ulaştırma sektöründe önemli bir rol oynayacağı beklenmektedir. Biyoetanol buğday, şeker pancarı, şeker kamışı, patates, arpa, mısır vb. gibi tarımsal ürünlerin işlenmesi ile elde edilebilir. Biyoetanol, benzin gibi fosil enerji türlerinden farklı olarak yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyoetanol gibi yenilenebilir bir yakıtı benimsemenin üç ana nedeni vardır. Bunlar; petrole olan bağımlılığın azaltılarak enerji güvenliğinin sağlanmasına yönelik olan stratejik gereklilik, küresel ısınmaya yol açan en büyük etkenlerden birisi olan sera etkisi yapan gazların azaltılmasına yönelik olan çevresel gereklilik ve dünyanın sınırlı miktardaki fosil yakıt kaynaklarıdır. Türkiye petrol ithal eden bir ülkedir, petrol ihtiyacının yaklaşık olarak %90'ı ithalat yolu ile karşılanmaktadır. Bu yüzden ve çevresel konularla ilgili endişelerden ötürü Türkiye'nin kademeli olarak benzinden biyoetanole yönelmesi en uygun seçenek olarak görülmektedir.

Bu çalışma, biyoyakıt türlerinden biri olan biyoetanoli ele almaktadır ve Türkiye'de biyoetanol üretiminde kullanılabilecek tarımsal ürünleri tanıtarak bunlardan en uygununun seçimini kapsamaktadır. Çalışmanın birinci kısmında biyoetanolin tanımı, biyoetanol üretiminin gelişim süreci ve biyoetanolin çevresel etkisi ortaya konulmuştur. İkinci kısımda biyoetanolin yakıt olarak özelliklerinden, Türkiye'de biyoetanol üretimi için kullanılabilecek hammaddelerden, Türkiye'nin benzin tüketim değerleri ve tahmini biyoetanol ihtiyacından bahsedilmiştir. Son kısımda ise bulanık AHP (Analitik Hiyerarşı Prosesi) metodu kullanılarak Türkiye için biyoetanol üretiminde kullanılabilecek en uygun hammadde seçimi çalışması verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyoetanol, Etanol, Biyoetanol hammaddeleri, Biyoetanol üretimi, Türkiye

ABSTRACT

There is an increasing interest concerning the bioethanol usage in the world and bioethanol is expected to play an important role in the transportation market. Bioethanol can be produced by processing agricultural crops like wheat, sugar beet, sugarcane, potato, barley and corn, among others. Bioethanol is a renewable energy source unlike fossil energy-based products such as gasoline. There are three main reasons to adopt a renewable fuel such as bioethanol: the strategic necessity to overcome dependency on petroleum to ensure greater energy security, the environmental need to reduce greenhouse gases which are considered as the most important contributors for global warming and the world has limited fossil fuel resources. Turkey is an petroleum importing country, approximately 90% of the petroleum requirement has been supplied by imports. Because of this and considerations about the environmental protection issues, a gradual change from gasoline to bioethanol seems to be the most reasonable alternative for Turkey.

This study considers the bioethanol, which is a type of biofuel and covers the introduction of agricultural crops that can be used for bioethanol production in Turkey and the selection of the most appropriate agricultural crop. In the first part of the study, the definition of bioethanol, the development process of bioethanol production and the environmental effects of bioethanol are considered. In the second part, the properties of bioethanol as a fuel, the feedstocks that can be used for bioethanol production in Turkey, Turkey's gasoline consumption amounts and the conjectural bioethanol requirement of Turkey are mentioned. Finally, a study, performed by using fuzzy AHP (Analytic Hierarchy Process) method, about the selection of the most appropriate agricultural crop that can be used for bioethanol production in Turkey is given.

Keywords: Bioethanol, Ethanol, Bioethanol feedstocks, Bioethanol production, Turkey

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun her geçen gün artan enerji talebine karşılık mevcut enerji kaynaklarının bu talebi cevaplamada yetersiz kalması alternatif enerji kaynaklarının önemini ortaya koymuştur. Alternatif enerji kaynakları fosil enerji kaynakları ve nükleer enerji kaynakları dışındaki enerjilerdir. Alternatif enerji kaynakları aynı zamanda ülkelerin enerji kaynaklarını artırma ve belli enerji kaynağı çeşitlerine büyük oranda bağımlı olmama stratejileri için de bir seçenek olarak durmaktadır. Bunun yanında fosil enerji kaynaklarının kullanılması sonucu açığa çıkan sera etkisi yaratan gazların çevreye yaptığı olumsuz etki hükümetleri ve bilim adamlarını alternatif enerji kaynakları arayışına yöneltmiştir.

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

Ülkeler için enerji kaynaklarının sürekli halde bulundurulabilmenin üç temel yolu vardır. Bunlardan birincisi ve önceliklisi, ülkelerin kendi kaynak potansiyelini doğru saptaması ve bunu geliştirerek en uygun biçimde enerjiye dönüştürmesidir. İkincisi, yurt dışındaki kaynakların aranması ve üretilmesi sürecine ülkenin kendi şirketleri ile katılarak ve bu kaynaklarda hisse sahibi olarak, enerji üretimi için gerek duyulan kaynaklar ve bunların taşınma yolları üzerinde kontrol elde edebilmesidir. Üçüncü yol da, ilk iki yolun yetersiz kaldığı durumlarda, ya da stratejik-ekonomik amaçlarla, kısa, orta veya uzun vadeli olarak, ithalata yönelmektir. İthalatın zorunlu görüldüğü durumlarda, dikkate alınması gereken en önemli ilkelerden birisi de, kaynak çeşitliliğinin sağlanmasıdır (Pamir, 2003).

Bahsedilen yollardan en önceliklisi olan birincisinin doğrultusunda sanayi faaliyetlerinin ve toplumsal hayatın önemli miktarlarda girdisi olan ve Türkiye'nin de büyük miktarda dışa bağımlı olduğu petrol ve petrol ürünleri karşısında, ülkeler yeni yakıt ve enerji kaynakları bulma çalışmalarına girişmişlerdir. Ülkelerin kendi bitkisel veya hayvansal kaynaklarını kullanarak elde ettikleri yakıtlara kısaca biyoyakıt adı verilmiştir. Biyoyakıtlar bitkisel veya hayvansal kaynaklı elde edilen tüm sıvı ve gaz yakıt türlerini kapsamaktadır. Biyoyakıt çatısı altında biyogaz, biyometanol, biyoetanol ve biyodizel gibi alternatif yakıtlar yer almaktadır.

Ancak bunların içinde biyoetanol en yaygın olarak kullanılanıdır. Bunun başlıca nedeni ise ABD ve Brezilya'nın yüksek miktarlardaki biyoetanol üretimleridir.

Biyoetanol yaygın olarak şekerli ve nişastalı bitkilerin fermantasyonu ile veya selülozik kaynakların asidik hidrolizi ile elde edilir ve benzine alternatif bir yakıttır (Karaosmanoğlu, 2005).

1980 yılında ABD Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü SERI (Solar Energy Research Institute) tarafından küçük ölçekli üreticiler için biyoetanol üretim rehberi yayınlanmıştır. Bu rehberde biyoetanol pazarından, biyoetanol üretim sürecinden, kullanılabilecek çeşitli hammadde türlerinin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

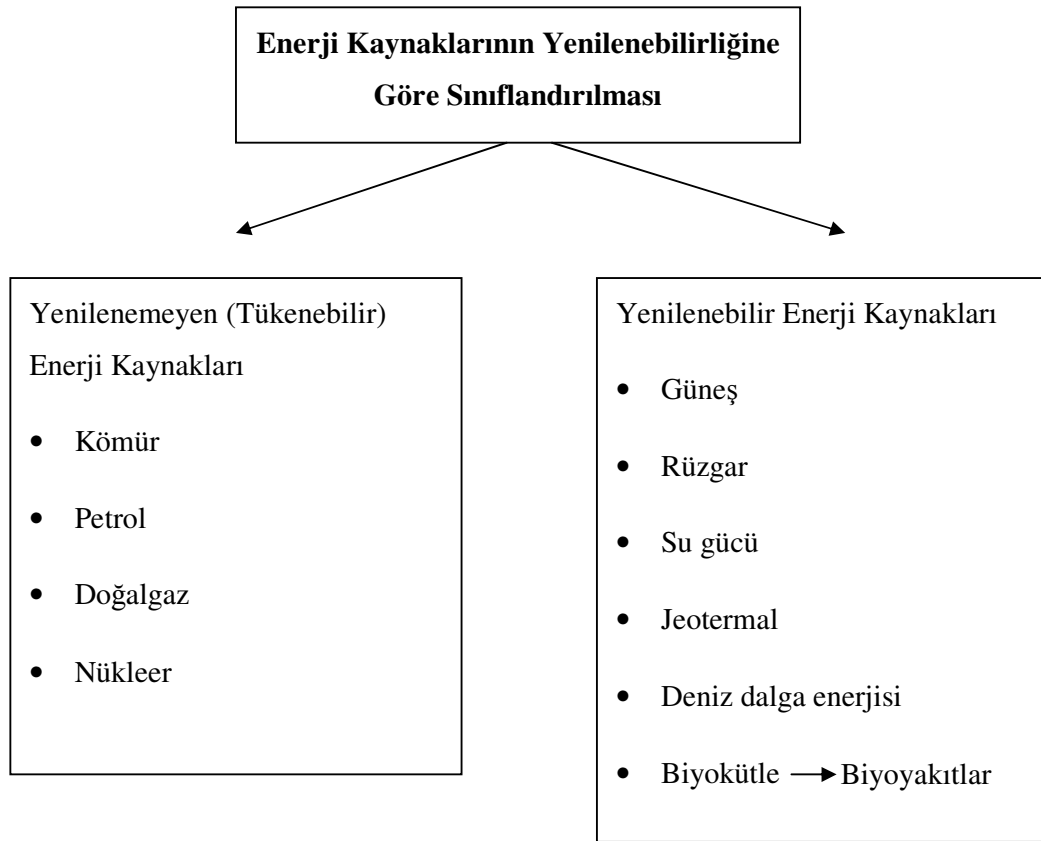
1994 yılında Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından biyoyakıt raporu hazırlanmıştır. Bu raporda biyoetanol benzinle karşılaştırılmış, biyoetanolün sera gazı emisyonları etkilerine değinilmiş ve biyoetanol üretimin maliyetlerine yer verilmiştir. Ajans 2004 yılında yeni bir kitap yayınlamıştır. Bu kitapta ek olarak geçen 10 yıl içerisindeki biyoetanol konusunda yeni gelişmelere yer verilmiştir.

2004 yılında Meyers Norris Penny LLP şirketi tarafından hazırlanan biyoetanol raporunda ise dünyanın önde gelen biyoetanol üreticisi ülkelerinin üretimleri hakkında bilgiler verilmiş, biyoetanol hammaddeleri karşılaştırılmaları yapılmış, başarılı biyoetanol üretim tesisleri verileri aktarılmış ve bu veriler doğrultusunda biyoetanol üretimine yönelik değişik hammaddeler için finansal modeller kurulmuştur.

Bu çalışma, Türkiye'nin dış ticaret açığının önemli bir bölümünü oluşturan ithal petrol tüketimine, sera etkisi yapan gazlara ve çevre kirliliği sorunlarına belli düzeyde de olsa çözüm olabilecek biyoyakıt türlerinden biyoetanolu ele almaktadır. Çalışma, Türkiye'de biyoetanol üretiminde kullanılabilecek tarımsal ürünleri tanıtarak bunlardan en uygununun seçimini kapsamaktadır. Çalışmada öncelikle biyoetanolün tanımı, gelişim süreci ve çevresel etkisi ortaya konulmuştur; daha sonra biyoetanolün yakıt olarak özelliklerinden, Türkiye'de biyoetanol üretimi için kullanılabilecek hammaddelerden, Türkiye'nin benzin tüketim değerleri ve tahmini biyoetanol ihtiyacından bahsedilmiştir. Son olarak ise Türkiye için biyoetanol üretiminde kullanılabilecek en uygun hammadde seçimi çalışması yapılmıştır.

2. BİYOETANOLÜN TANIMI, GELİŞİM SÜRECİ VE ÇEVRESEL ETKİSİ

Yaşanılan dönemde bilinen enerji kaynaklarının ihtiyaca cevap verememe eğiliminin baş göstermesi ile gelişmiş ülkeler alternatif enerji arayışlarına girmişlerdir. Belli enerji kaynağı türlerine büyük oranlarda bağımlı olmamaya çalışmak bu arayışın önemli itici unsuru olmuştur. Ayrıca daha temiz ve yaşanabilir bir çevre için alternatif enerji kaynakları bulunmasına yönelik çalışmalar giderek artış göstermektedir. Kullanımı öncesi ve sonrasında çevreye ve insana verdiği zarar ve kaynakların sınırlılığı üzerinden enerji kaynakları, yenilenemez ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılabilir. Şekil 2.1’de enerji kaynaklarının yenilenebilirliğine göre sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının yenilenebilirliğine göre sınıflandırılması

Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan üretilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır (Karaosmanoğlu, 2002).

Yenilenebilir enerji kaynakları tükenmez oluşları ve süreklilik göstermeleri açısından

önemlidir. Biyokütle enerji kaynakları (Karaca vd., 2004);

Klasik Biyokütle Kaynakları;

- yakacak odun,
- bitki ve hayvan artıkları,

Modern Biyokütle Kaynakları;

- enerji ormanları,
- orman ve ağaç endüstrisi atıkları,
- enerji tarımı ürünleri,
- tarımsal endüstri atıkları,
- kentsel atıklardır.

Biyokütle doğrudan yakıt olarak kullanılarak veya çeşitli işlemlerle yakıt kalitesi artırılıp, mevcut yakıtlara eşdeğer özelliklerde alternatif biyoyakıtlar elde edilerek enerji teknolojisinde değerlendirilmektedir. Biyoyakıtlar içerisinde yer alan biyoetanol hızla yaygınlaşmaktadır, bunun en önemli sebepleri ekonomik olarak benzin yakıtı ile değerlendirilebilmesi ve çevreye olumsuz etkisinin daha az olmasıdır (IEA, 2004).

2.1 Biyoetanolün Tanımı

Yakıt alkolü, metil alkol ve etil alkolü kapsayan bir tanımlama olmasına karşın, yaygın olarak bu isim biyokütle kaynaklarından elde edilen etil alkol (etanol - biyoetanol) için kullanılmaktadır (Karaosmanoğlu, 2005). Biyoetanol, basit olarak renksiz, berrak, yanıcı, oksijenlenmiş hidrokarbondur. Biyoetanol çeşitli kaynaklardan elde edilebilen bir akaryakıttır. Bu kaynaklar şöyle sıralanabilir:

- Tahıllar, tohumlar, şeker mahsulleri ve diğer nişasta kaynakları biyoetanol üretmek için kolaylıkla fermentasyona uğratılabilirler, bunlar tamamen veya benzine belli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir.
- Ağaçları, çeşitli otları, evsel atıkları da içine alan selülozik malzemeler alkole dönüştürülebilir. Fakat bu yöntem şeker ve nişasta içeren tarım ürünlerinin işlenmesi yöntemine göre daha karmaşıktır. Bu alandaki teknikler sürekli geliştirilmektedir.
- Endüstriyel üretimde, petrol ürünü olan etilenin hidrasyonu (bir su molekülü katılması) ile veya asetaldehidin indirgenmesi ile sentetik olarak elde edilebilir.

Dünya üzerindeki biyoetanol üretiminin %95'inden fazlası tarımsal ürünlerin işlenmesi ile elde edilmektedir (Berg, 2004). Dünyada biyoetanol öncelikle şeker kamışı, şeker pancarının

işlenmesi ile veya tahıl gibi ürünlerin damıtılması yöntemiyle (distilasyonla) üretilmektedir. Her ne kadar selülozik biyoetanol teknolojisi hala gelişmekte ve klasik üretim işlemleriyle fiyat karşılaştırılması yapılmamış olmasına rağmen biyoetanol, tarımsal ve odun artıkları ve hızlı büyüyen ağaçlar ve otlar gibi selüloz malzemelerden de üretilebilmektedir. Biyoetanol yaygın olarak tahıl, şeker pancarı, şeker kamışı, patates gibi tarım ürünlerinden üretilmektedir. Bu yüzden biyoetanolün motorlarda kullanıldığı ülkeler genellikle bu tür tarım ürünlerinin çokça yetiştirildiği Brezilya, ABD gibi ülkelerdir. Temiz, renksiz ve zehir etkisi olmayan bir sıvıdır. Yüksek oktan sayısına sahip olması içten yanmalı motorlarda kullanılması için bir avantajdır. Üretim ve kullanımının yaygınlaşması ile tarım sektörünün ürünleri daha iyi değerlendirilme imkanı bulacak, bunun da çiftçiye yansması kaçınılmaz olacaktır (Acaroğlu vd., 2004).

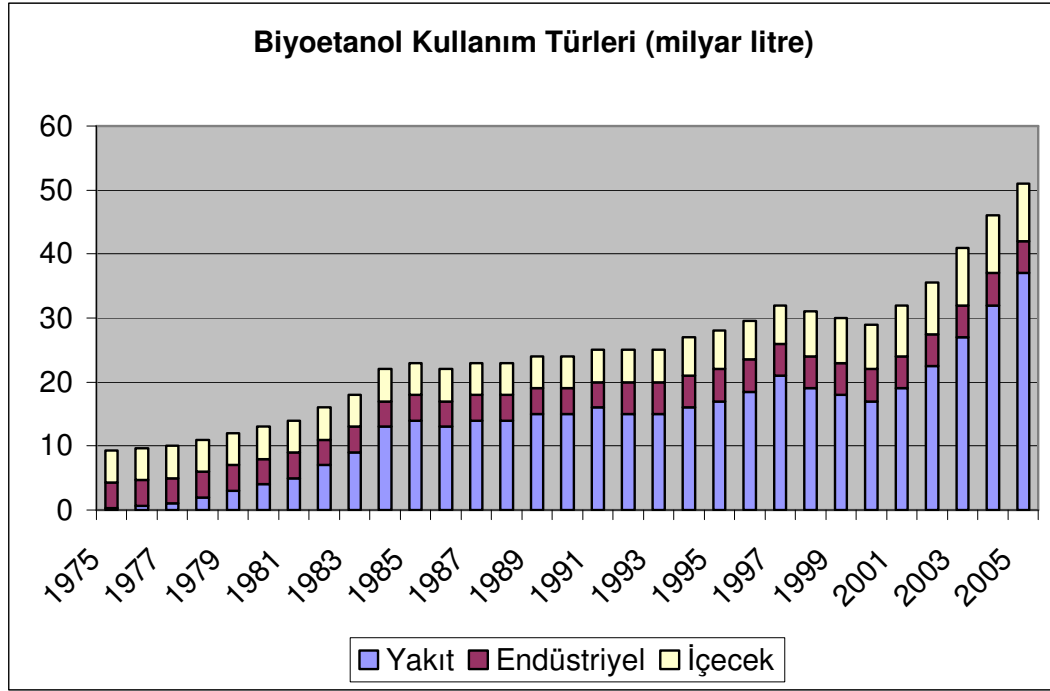
Günümüzde biyoetanol en yaygın olarak taşımacılık sektöründe doğrudan benzinin yerine veya hacim artırıcı ve oktan yükseltici olarak benzinle karıştırılarak kullanılmaktadır. Ancak biyoetanol içki için veya eczacılık, boya endüstrisi ve tekstil gibi alanlarda çözücü olarak endüstriyel amaçlarla da kullanılabilir. Şekil 2.2’de yıllar itibarı ile biyoetanolün kullanım alanları miktarları görülmektedir.

Biyoetanol Kullanmaya İten Nedenler

Biyoetanolle duyulan ilgi enerji sektöründeki çeşitli endişelerden ve biyoetanol kullanmanın potansiyel faydalarından kaynaklanmaktadır. Bu ilginin nedenleri şöyle sıralanabilir:

- İthal edilen petrole bağımlılığı azaltmak, böylelikle enerji güvenliğini artırmak ve ithal edilen petrole ödenen paranın azaltılarak yurtiçinde kalmasını sağlamak,
- Fosil kaynaklı olmayan yakıtlar üretebilmek,
- Çevre ile ilgili sorunlara çözüm oluşturabilmek, hava kirliliğini ve sera etkisi yapan gaz emisyonlarını azaltmak,
- Yakıtlarda tutuşmadan sıkıştırılabilirlik derecesini ifade eden oktan sayısını yükseltmek ve dolayısı ile motordan daha iyi verim alabilmek,
- Yurtiçi tarımsal ürünlere olan talebi artırmak ve böylelikle kırsal alandaki istihdamı sağlamak.

Grassi (2005), ABD’de mısırdan yıllık 1 milyon ton biyoetanol üretimi neticesinde 7.980’i tarımsal sektörde, 5.320’si üretim ve diğer gerekli işlerde, 1560’ı fabrika inşaatında olmak üzere 14.860 istihdam sağlandığını ortaya koymuştur. Bu sayı AB için 20.100’dür (Grassi, 2005).



Şekil 2.2 Biyotanol kullanım türleri (milyar litre) (Berg, 2004)*

Son 30 yıl boyunca biyotanole duyulan ilgilinin nedenleri değişkenlik göstermiştir. 1970'lerdeki petrol krizi enerji güvenliği konusunu gündeme getirmiş, biyotanol araştırma ve geliştirme çalışmalarını birçok ülkede hızlandırmıştır. 1980'lerde ise düşen petrol fiyatları nedeni ile enerji güvenliği endişesi nispeten azalmıştır. 1990'ların başından itibaren ise yerel ve küresel çevresel endişeler biyotanol çalışmalarının itici gücü olmuştur.

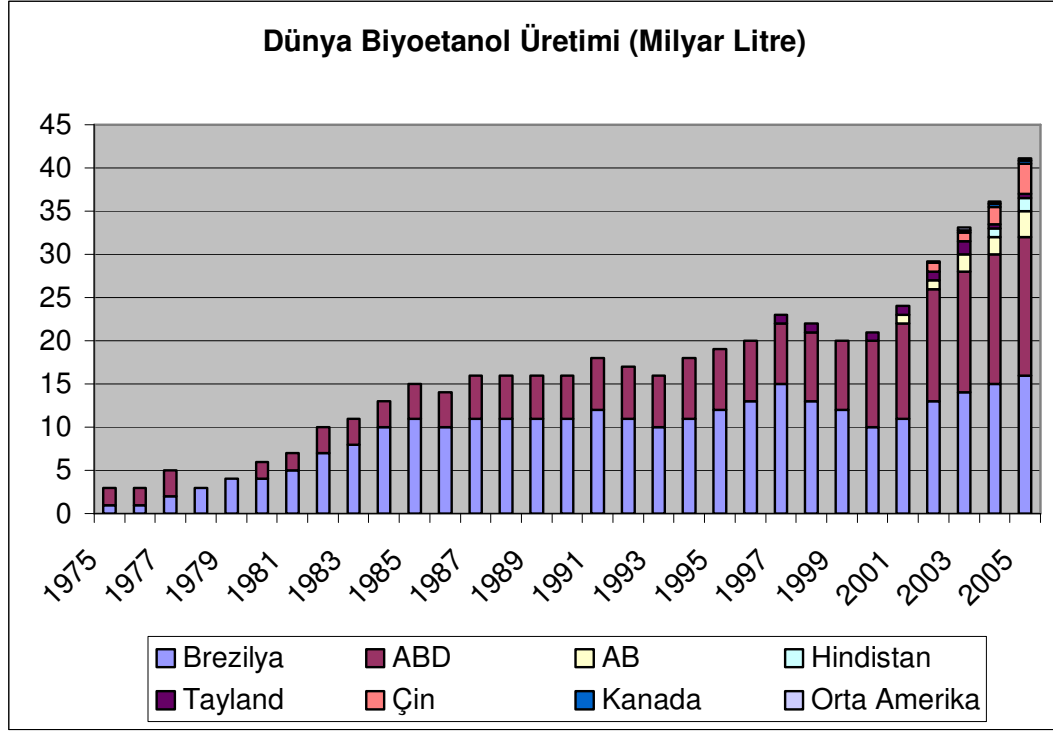
2.2 Küresel Ölçekte Biyotanol Üretimi

Küresel ölçekte biyoyakıtlar içerisinde en yaygın olarak kullanılan yakıt biyotanolüdür. Bunun ana sebebi de Brezilya ve ABD'deki büyük miktarlardaki biyotanol üretimidir. Mısırdan üretilen biyotanol 1980'lerin başından beri ABD'de taşıt yakıtı olarak kullanılmaktadır ve günümüzde ABD'de yıllık 16 milyar litrenin üzerinde üretimi yapılmaktadır. ABD'nin bu üretimi Şekil 2.3'te de görüleceği gibi hızlı bir şekilde artış eğilimindedir (RFA, 2006).

Brezilya'da ise şeker kamışından biyotanol üretimi 1975 yılında başlamıştır. Üretim 1997 yılında 15 milyar litreye ulaşmıştır. Fakat daha sonra değişen politik amaçlar nedeni ile 2000

* 2004 ve 2005 yılı değerleri tahmini olarak verilmiştir.

yılında 11 milyar litreye düşmüştür. Brezilya’da bu yıldan sonra biyoetanol üretimi tekrar yükselişe geçmiştir. Brezilya’da satılan benzine hacimsel olarak %22 ile %26 değerleri arasında biyoetanol katılabilmektedir veya saf olarak kullanılabilir (Schmitz vd., 2002).



Şekil 2.3 Dünya biyoetanol üretimi (milyar litre) (Berg, 2004)*

Biyoyakıtların kullanımı artırmak için çeşitli girişimler yapılmaktadır. 2003 yılında Avrupa Komisyonu biyoyakıtların ve taşıma için olan diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına yönelik bir talimat yayınlamıştır. Bu talimat gereğince Avrupa Birliği içerisinde yakıtlardaki biyoyakıt oranının Aralık 2010 itibarı ile %5,75 olması hedeflenmektedir. Bu hedef bir zorunluluk değildir fakat hükümetlerin bu hedefi gerçekleştirmek için plan geliştirmeleri gerekmektedir.

Biyoetanol üretiminde Avrupa lideri olan Fransa’da hükümet, ulusal çapta biyoyakıt üretimi için yapılacak yatırımları teşvik etmek amacı ile oluşturulan ve finansal kolaylıklar içeren biyoyakıt üretim programını desteklemektedir. Çizelge 2.1’den de görüleceği gibi biyoetanol

* 2004 ve 2005 yılı değerleri RFA, (2006)’dan alınmıştır.

Fransa’da ETBE (Etil Tersiyer Bütil Eter)’ye dönüştürülmüş olarak kullanılmaktadır. ETBE, biyoetanolün izobutilenle tepkimesinden üretilir. ETBE, benzinle %15’e kadar varan oranlarda karıştırılarak kullanılabilir, yakıtın oktan sayısını yükseltici etkiye sahiptir. Fransa Hükümeti’nin ETBE’ye uyguladığı vergi 20,92 €/lt’dir. Kurşunsuz benzinden alınan vergi ise 58,92 €/lt’dir (USDA, 2006).

Avrupa’da Fransa ile birlikte biyoetanol üretiminde öncü ülkelerden birisi olan İspanya ile biyoetanol üretimi giderek artan Almanya da biyoyakıtlara yönelik olarak vergi muafiyeti uygulamaktadır.

İsveç, biyoyakıtlar üzerine yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarını teşvik etmektedir. Biyoetanolle yönelik uygulanan vergi indirimi yanı sıra yüksek oranda biyoetanol içeren biyoetanol-benzin karışımları ile çalışan ve Esnek Yakıtlı Taşıt (EYT) denilen araç vergilerinde benzinle çalışan araçlara göre %80’e varan indirimler uygulanmaktadır.

Kanada’da hükümet Kyoto Protokol’ü doğrultusunda biyoetanol sektörüne finansal yardımda bulunacağını taahhüt etmiştir. Yapılan planda Kanada’da 2010 yılında kullanılan benzinin %35’inin E10 (hacimsel olarak %90 benzin, %10 biyoetanol) türü olması hedeflenmektedir (Meyers Norris Penny LLP, 2004).

Hindistan’da ulaşım sektörü büyük bir hızla gelişmektedir, ülkenin petrol tüketiminin büyük bir bölümünü bu sektör oluşturmaktadır ve petrol ihtiyacı ithal edilerek karşılanabilmektedir. Dünyanın en büyük şeker imalatçılarından birisi olan Hindistan’ın şeker endüstrisi üretim fazlası sorunun aşmak için geçmişte hükümetten biyoetanol üretimi için talepte bulunmuştur. Kasım 2001’de hükümet benzin-biyoetanol karışımının fizibilitesini test etmek için pilot projelere izin vermiştir. Mart 2002’de ise ülke çapında E5 (hacimsel olarak %95 benzin, %5 biyoetanol) türü araç yakıtının satılması kararlaştırılmıştır (Berg, 2004).

Tayland’da ise ülkenin ithal petrole büyük oranda (kullanılan petrolün %90’ı ithal edilmektedir) bağımlı olması ve artan petrol fiyatlarının ekonomiyi olumsuz etkilemesi nedeni ile Eylül 2000’de hammadde olarak şeker kamışı, manyok ve pirinç kullanarak büyük çapta bir biyoetanol endüstrisi kurulması kararı alınmıştır.

Kolombiya’da Eylül 2001’de hükümet, 2006 yılı için nüfusun 500.000’den fazla olduğu şehirlerde benzine %10 oranında biyoetanol karışımının zorunlu olması yönünde bir karar almıştır (Berg, 2004).

ABD’de önümüzdeki birkaç yıl içerisinde üretimi birkaç misli artırabilecek kanunlar göz

önüne alınmaktadır. ABD’de ülke genelinde E10 türü karışıma uygulanan satış vergisi 13,2 /lt’dir, bu değeri benzin için 18,4 /lt’dir (APWA, 2004). Ayrıca ABD’de alkol yakıtı ile çalışan araçlar için vergi avantajları sağlanmaktadır.

Japonya biyoetanol-benzin karışımlarında %3 oranına kadar müsaade etmektedir. Japonya’nın biyoetanol üretim potansiyeli az olmasına rağmen hükümet giderek artan çevresel endişelerden ötürü dışarıdan ithali bile gerekse biyoetanol karışımı kullanma yönündeki tavrını ortaya koymuştur.

Latin Amerika, gelişen biyoetanol pazarını dikkate alarak kapasite artırımı çalışmalarına girişmiştir.

Bazı ülkelerin 2005 yılındaki biyoetanol üretimleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Çizelge aynı zamanda kullanım çeşidini ve hammadde kaynağını da ortaya koymaktadır. Çizelge 2.1’de görülen E10, E85 gibi değerler biyoetanolün yakıt içerisindeki hacimsel olarak karışım oranını ifade etmektedir. Örneğin, yakıt karışımı içerisinde hacimsel olarak %10 kadar biyoetanol var ise E10 olarak isimlendirilir. Benzinli motorlarda hacimsel olarak %7-10 konsantrasyonunda biyoetanol ile benzinin karıştırılması Kuzey Amerika’da yaygın bir uygulama olarak kendini göstermektedir. 1970’den beri üretilen araçlara yakıt karışımı hacimsel olarak %10 biyoetanol (E10) içeren yakıtlar tam olarak uymaktadır. Bütün otomobil üreticileri E10 karışımının kullanılmasını onaylamakta ve taşıtlarını bu yakıt için garanti etmektedirler (Acaroğlu vd., 2004).

Biyoetanol için özel üretilmiş araçlarda biyoetanol, hacimsel olarak %85 biyoetanol, %15 benzin (E85) karışım oranına kadar, yüksek karışım oranlarında kullanılmaktadır. Bu araçlar %100 biyoetanol sınırına kadar her oranda biyoetanol-benzin karışımı olarak çalıştırılabilmektedir. Bu nedenle bu taşıtlar esnek yakıtlı taşıtlar olarak adlandırılır (Acaroğlu vd., 2004).

2.3 Biyoetanol Üretiminin İzlediği Süreç

İçinde bulunduğumuz 21. yüzyıl “Biyoteknoloji Yüzyılı” olarak adlandırılmakta ve biyokökenli endüstriyel ürünler giderek artan oranlarda yaşamımıza girmektedir. Bu ürünlerden birisi olan biyoetanol de günümüze gelene dek bir çok gelişim aşamalarından geçmiştir. Her ne kadar biyoetanol ürünü ilk halinden farklı olmasa da elde ediliş sırasında kullanılan teknoloji ve yöntemlerde önemli ilerlemeler yaşanmıştır.

Çizelge 2.1 Çeşitli ülkelerin 2005 yılı biyoetanol üretimi (milyon litre) (RFA, 2006)

	Biyoetanol Üretimi	Kullanım Çeşidi	Hammadde
<i>ABD</i>	16.118	E10 karışımı, az sayıda E85 karışımı	Mısır
<i>Brezilya</i>	15.978	E26'ya varan karışımlar, saf etanol	Şeker Kamışı
<i>Çin</i>	3.795	Düşük oranlarda karışım	Çeşitli Tahıllar, Şeker Kamışı
<i>Hindistan</i>	1.697	E5	Şeker Kamışı
<i>Fransa</i>	907	ETBE'ye dönüştürülmüş olarak	Şeker Pancarı, Buğday
<i>İspanya</i>	352	ETBE'ye dönüştürülmüş olarak	Arpa, Buğday
<i>Tayland</i>	299	E10	Şeker Kamışı
<i>Kanada</i>	231	E10	Buğday
<i>Polonya</i>	219	Düşük oranlarda karışım	Çavdar, Patates
<i>Avustralya</i>	125	E10 ile E20 karışımları	Buğday, Şeker Kamışı
<i>İsveç</i>	110	E10, E85 ve E95 karışımları	Buğday
<i>Dünya</i>	45.927		

2.3.1 Pazarın Gelişimi

Alkolle çalışan ilk içten yanmalı motorlar 19. yüzyılda yapılmaya başlanmıştır. 1860 yılında bir Alman mucidi olan Nicolaus August Otto kendisinin geliştirdiği motorda etil alkol kullanmıştır. Aslında bunun bir sebebi de o yıllarda Avrupa'da enerji lambalarında kullanılan vergi dışı tutulmuş alkolün yaygınlığıdır. Bu alanda göze çarpan bir diğer mucit ise Henry Ford'dur. Henry Ford tasarladığı Ford T Modeli ile hem benzinle hem de etanolle çalışabilen esnek bir araç modeli ortaya koymuştur. Fakat ABD'nin ham petrolü ucuz bir şekilde benzine dönüştürmesi ile etanolün araç yakıtı olarak kullanımı yok olmuştur.

İkinci Dünya Savaşı sırasında askeri araçlarda az da olsa yakıt olarak biyoetanol kullanımı olmuştur. Savaştan sonra ise etanolün pazarını endüstriyel çözeltiler olarak ve alkollü içki için etanole olan talepler belirlemiştir. Motor yakıtlarının büyük çoğunluğunu yine benzin oluşturmuştur.

Brezilya, 1973 yılında yaşanan petrol krizinin etkisi ile 1975 yılında Ulusal Alkol Programı'nı (Proalcool) oluşturmuştur. Böylelikle Brezilya, etanolün motor yakıtı olarak kullanılmasını amaçlayan enerji politikasını ortaya koyarak endüstride bir değişim başlatmıştır. 1979 yılında alkolle çalışan araçların fiyatları benzinle çalışan araçların fiyatlarının %65'i olacak şekilde belirlenmiştir ve araç vergileri de alkolle çalışan araçlar için düşük tutulmuştur. 1998 yılında biyoetanol dağıtımını yapan Petrobras adlı şirketin tekeli kaldırılmıştır. 1 Şubat 1999 tarihinden itibaren daha önceden hükümet tarafından belirlenen biyoetanol fiyatları serbest bırakılmıştır ve alkol üreticilerine verilen sübvansiyonlar düşürülmüştür. Brezilya'da biyoetanol üretim miktarları hükümet tarafından kontrol edilmektedir. Her yıl resmi emir ile benzin-biyoetanol karışım oranları belirlenmektedir (Schmitz vd., 2002). Mayıs 2001'de Brezilya Hükümeti benzindeki alkol oranını %20'den %22'ye çıkarma kararı almıştır, Ocak 2002'de ise bu oran %24'e, Temmuz 2003'te %25'e çıkarılmıştır. Hükümet benzin fiyatlarının yükseldiği ve şeker fiyatlarının düştüğü dönemlerde karışım oranlarını artırma eğilimindedir. Brezilya bugün de şeker kamışından yıllık yaklaşık 16 milyar litre biyoetanol üretimi ile dünyada baş aktör olarak yer almaktadır.

1973 yılındaki petrol krizi nedeni ile ABD, kendi ülkesi içerisinde üretilen yenilenebilir enerjinin değerini bir kez daha kavramıştır. 1980'lerin başında ABD Başkanı Jimmy Carter'in isteği ile Archer Daniels Midland (ADM) adlı şirket alkol fabrikasını yakıt alkolü üretebilecek bir şekle dönüştürmüştür. Archer Daniels Midland, henüz petrol endüstrisine göre çok genç olan biyoetanol endüstrisinde birkaç yıl boyunca mısırdan biyoetanol üretmeye devam etmiştir.

ABD çapındaki çiftçiler gelişen endüstrinin ihtiyacı olan mısırı sağlayarak ve kendileri için de bunun bir fırsat olduğunu düşünerek bu pazara dahil olmuşlardır. 1980'lerin ortalarına gelindiğinde ise ABD çapında 175 biyoetanol fabrikası bulunmaktaydı. Söz konusu fabrikaların yıllık üretim miktarları ise birkaç istisna dışında 75.000 litreden 26.000.000 litreye kadar değişmekte idi. Her ne kadar iyi niyetle kurulmuş olsalar da çiftliklerdeki biyoetanol üretim atölyelerinin büyük çoğunluğu ilkel bir üretim sistemi ile çalışmaktaydılar. Bu sırada ABD'nin biyoetanol hammaddesi olan mısırın fiyatlarındaki dalgalanmalar ve petrolün fiyatının düşmesi biyoetanol üretiminin fazla gelişmemesine yol açmıştır (BBI

International, 2005).

Henüz çok genç olan biyoetanol endüstrisinin ayakta durmaya çalıştığı 1983 ve 1984 yıllarında ABD Hükümeti'nin hububat fazlasını eritmek için yürürlüğe koyduğu takas programı ve rastlantısal olarak o döneme gelen kuraklık 1970 yılından beri görülen en düşük mısır hasadı ile neticelenmiştir. Bu da bir çok sayıdaki küçük biyoetanol üreticisinin kapısına kilit vurmasına yol açmıştır.

1990'ların ortasında ise biyoetanol endüstrisinin gelişiminde kritik rol oynayan bir büyük değişim süreci başlamıştır. Bu değişim, yeni nesil kooperatiflerin ve çiftçinin sahip olduğu biyoetanol üretim tesislerinin ortaya çıkması idi. ABD'de önceki dönemlerde çiftçiler, mısır fiyatları yükseldiğinde mısır satarak, düştüğünde ise biyoetanol üreterek geçimlerini sağlıyorlar idi. Kooperatif düzeni sayesinde çiftçi üzerinde risk azaltıldı ve çiftçinin biyoetanol üretimini artırmasının yolu açılmıştır. Bu noktadan sonra istikrar kazanan pazar, şirketlerin ilgisini çekmeye başlamıştır ve büyük işletmeler de bu pazarda kendilerine yer açmışlardır (BBI International, 2005). Ayrıca 1990 yılında ortaya konulan bir kanunla (The Clean Air Act) emisyon değerlerinde iyileştirme hedeflenmiş ve son yıllardaki biyoetanol kullanımının artışında rol oynamıştır.

Bu iki ülke dışında biyoetanol kullanım geçmişi olan ancak son birkaç yıla kadar dikkate değer bir seviyede üretimi olmayan bazı ülkeler daha vardır. Bu ülkeler enerji güvenliği, çevresel zorlayıcı faktörler gibi nedenlerle kendi politikaları doğrultusunda üretimlerini artırma çabasındadırlar.

2.3.2 Üretim Teknolojisinin Gelişimi

Her bir biyoetanol üretim tesisi, kendisinden önceki tesislerin teknolojisinden daha hızlı, daha az maliyetli ve daha verimli bir görünüm sunmuştur. ABD'deki üretim tesislerinin inşaa maliyetleri 1980'lerin başından günümüze yarı yarıya azalmıştır. Bu düşüşün nedenleri arasında tesis kurulum zamanının da rolü büyüktür. 1990'ların ortalarında ortalama bir tesisin inşası 16 ile 24 ay arasında değişirken, bugün bu süre 12 aya ve hatta daha az sürelerle kadar inmiştir (BBI International, 2005).

Yıllar itibari ile gelişen bilişim sektörü biyoetanol üretimi sürecine de katkı sağlamıştır. Bilgisayar otomasyonunun bir sonucu olarak, tesisler çalışan sayılarını azaltmışlar, teknolojik ilerlemeler ihtiyaç duyulan ekipmanı azaltmış ve tesislerin çok daha verimli çalışmalarını sağlamışlardır.

Biyoeanol üretimi sürecinde kritik rol oynayan enzimler üzerinde yapılan çalışmalar da, üretim teknolojisinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Enzimler çok basit olarak, fermantasyon sırasında mikroorganizmalar tarafından üretilen proteinlerdir. Bu proteinler, kimyasal tepkimelerin oluşumu için gerekli daha iyi bir sıcaklık ve pH derecesi sağlarlar. Bu doğrultuda biyoteknolojinin amacı da, endüstriye fayda sağlayacak enzimlere ulaşmaktır. Enzimlerin, emisyon değerleri üzerinde ve enerji tüketimi üzerinde olumlu etkileri vardır. Ayrıca enzimler operasyon faaliyetlerini de kolaylaştırmaktadırlar. Son 30 yılda biyoeanol endüstrisinde yaşanan çarpıcı gelişmeler enzim endüstrisinde de yaşanmıştır:

- Biyoeanol üretim verimliliğini artıran yeni ilerlemeler sağlanmıştır. Sıvılaştırma, sakkarifikasyon, fermantasyon gibi alanlardaki geliştirmeler sonuca olumlu katkılarda bulunmuştur.
- Geliştirilmiş enzim üretim maliyetleri ve elde edilen verim, teknolojik gelişmelerle birbirini olumlu etkilemiştir. Gelişen teknoloji, son 25 yılda enzim maliyetlerinin %70'den fazla düşmesine yol açmıştır.

Isıtıcılarda kullanılan geleneksel brülörlerin yerine yeni brülörler kullanılması ile hava emisyonlarında da önemli iyileştirmeler sağlanmıştır. Eskiden yaklaşık olarak 1.000.000 kJ değerindeki bir ısıtma ile 0,5 kg emisyon oluşurken, bugün yeni ısıtma sistemleri ile bu değer 25 grama kadar düşmüştür (BBI International, 2005).

Büyük tesislerin giderek artan değerdeki atık su miktarları üreticileri anaerobik kazanları kullanmaya itmiştir. Anaerobik reaktörler sayesinde atık su içerisindeki organik bileşik değerleri daha az seviyelere indirilebilmektedir. Ayrıca bu süreç sonunda metan gazı elde edilmekte ve bu gaz daha sonra kurutma işleminde kullanılabilir. Ayrıca bu süreç sonunda metan gazı elde edilmekte ve bu gaz daha sonra kurutma işleminde kullanılabilir.

2.3.3 Türkiye'deki Süreç

Türkiye'de ilk kez 1931 Ziraat Kongresi'nde yakıt alkolü gündeme gelmiş, 1936'da Atatürk'ün hazırlattığı planda 23. bölüm sentetik benzin endüstrisine ayrılmıştır. Bu plan yakıtların ithalat ile sağlanmamasını, ülke kaynaklarından yakıt üretimi gerekliliğini ortaya koymuştur. Atatürk'ün ölümü ve ardından 2. Dünya Savaşı ile planın uygulaması gerçekleştirilememiştir. 1942 yılında orduda kullanılan benzine %20 oranında biyoeanol katılmıştır (Karaosmanoğlu, 2005).

Petrol krizinin ardından Türkiye Şeker Fabrikaları "Yakıt Amaçlı Alkol Üretimi" projesini yatırım planına almış ve yakıt alkolü fabrikalarının kurulması, mevcut fabrikalarda da kapasite artırımı çalışmaları başlatılmıştır. Ancak bu çabalar sürdürülememiştir. Sürekli

planlamalar dahilinde olan bu konu Türkiye’de sadece bilimsel çalışmalarla, pek çok ülkede ise, başarılı uygulamalar ve artan pazar payı ile 2000’li yıllara ulaşmıştır (Karaosmanoğlu, 2005).

2001 yılında Tütün, Tütün Mamulleri, Tuz ve Alkol İşletmeleri TEKEL A.Ş. kurularak özelleştirme çalışmaları başlamış ve kamu hisseleri özel girişime açılmıştır. 3 Ocak 2002 tarihli ve 4733 Sayılı kanun ile de T.C. Tütün, Tütün Mamulleri ve Alkollü İçkiler Piyasası Düzenleme Kurumu (TAPDK) kurulmuştur. TAPDK Türkiye’deki alkol üretimi, kullanımı ve satışı için tüm esasları düzenlemekte ve denetlemektedir. Tarımsal Kimya Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş. (TARKİM) biyoetanol üretim lisansına sahip, girdisi buğday ve mısır olan 30.000.000 lt/yıl kapasiteye sahip ilk üreticidir.

2.4 Çevresel Bakış

Yaşanılan dönemde özellikle fosil yakıt kaynakları kullanmanın çevreye zararları iyi bilinmekte olup, her hangi bir enerji kaynağı artık çevre etkisi ile birlikte değerlendirilmektedir. Çevre bilincinin 20. yüzyıl ikinci yarısından sonra belirgin hale gelmesinden sonra, insanoğlu yaşadığımız gezegene verdiği zararın farkına varmaya başlamış ve alternatif enerji kaynakları aramaya başlamışlardır.

Biyoetanol tarlaları ve teknolojilerinin çevresel üstünlükleri arasında, toprak ve su kirliliğinin daha az olması, iklim denetimine yardımcı olmaları, erozyon denetimi sağlamaları, fosil kaynaklı yakıt yerine biyoetanol kullanılması ile sera etkisi yapan gaz emisyonları ve diğer hava kirleticiler emisyonların azaltılması sayılabilir.

2.4.1 Biyoetanolün Çevresel Etkisi

Yakın gelecekte petrole olan bağımlılığın sürmesi ile ortaya çıkabilecek ekonomik endişelerin yanı sıra, eğer enerji kullanım alışkanlıklarında bir değişiklik yapılmazsa daha büyük bir sorun haline gelebilecek olan çevresel sorunlar meydana gelecektir. Son yıllarda, otomotiv sanayinin gelişmesi, nüfus artışı ve yaşam seviyesinin büyük gelişme göstermesi sonucunda, motorlu karayolu taşıtları sayısı büyük bir hızla artmıştır. Bunun sonucu olarak özellikle büyük kentlerde motorlu taşıtların hava kirliliğine katkı payı artmış, zararlı emisyonları nedeniyle çevre sağlığını bölgesel ve küresel ölçekte tehdit etmeye başlamıştır.

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar, atmosferde gaz, aerosol ve partikül madde olarak bulunan yüzlerce bileşiği içerirler. Motorlu taşıtlarla ilişkili başlıca hava kirleticileri, karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO₂), partikül madde, azot oksitler (NO_x) ve uçucu

organik bileşiklerdir (hidrokarbonlar). Bu şekilde oluşan karbonmonoksit kirliliğinin yanında, yer seviyesi ozon miktarındaki artış, stratosferik ozonun faydalarının aksine çevre sağlığı açısından zararlıdır. Ayrıca motorlu taşıt egzoz emisyonları karbondioksit, metan ve nitroz oksidi gibi bir çok sera gazlarını ihtiva ettiği için yer kürenin ısınmasında rol oynarlar.

Sera etkisi yaratan gazların başında CO₂ gelmektedir. Dünya üzerindeki enerji faaliyetleri ile ilgili CO₂ emisyonlarının yaklaşık dörtte biri taşımacılıktan kaynaklanmaktadır (IEA, 2002). Biyoetanol kullanımının CO₂ emisyon değeri üzerine etkisi bakış açısına göre değişmektedir. Niven (2004), E10 tipi yakıt göz önüne alındığında ve tüm biyoetanol üretim süreci hesaba katıldığında benzine göre %1 ila %5 arasında bir azalma, E85 gibi biyoetanol içeriği fazla olan karışımlarda ise %19 ila %70 arasında bir azalma tespit edildiğini ortaya koymuştur. IEA (2004), tüm biyoetanol üretim süreci dikkate alınmadan egzoz çıkışı emisyon değerleri göz önüne alındığında CO₂ emisyon değerinin biyoetanol ve benzin için hemen hemen aynı seviyelerinde olduğunu belirtmektedir. Tüm biyoetanol süreci denildiğinde bunun içerisine ürünlerin atmosferden tuttuğu CO₂ miktarı, ürünlerin yetiştirilmesi sürecinde, ürünlerin fabrikaya taşınması sürecinde, tesiste biyoetanol üretimi sürecinde ve biyoetanolün istasyonlara dağıtımı sürecinde kullanılan yakıt miktarı dahil edilmektedir.

Çizelge 2.2’de görüleceği gibi örneğin E10 şeklindeki biyoetanol karışımı benzine göre, birçok kirlenici faktörü azaltmaktadır. Benzinde MTBE (Metil Tersiyer Bütil Eter) yerine biyoetanol kullanıldığında da yine benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Biyoetanol kullanmanın en büyük sonuçlarından birisi de karbonmonoksit emisyonlarını azaltmasıdır. Biyoetanolün benzinle %10 karışım oranı ile kullanılması karbonmonoksit emisyonunda %25’den fazla azalmalara yol açmaktadır, ayrıca oksijen içeriğini artırarak yakıtın daha iyi tutuşmasını sağlamaktadır. Ayrıca biyoetanol kullanılması durumunda kükürtdioksit (SO₂) emisyonlarında da azalma tespit edilmiştir. Düşük oranlardaki biyoetanol karışımı kullanımları azot oksit (NO_x) emisyonlarını dikkate değer oranlarda değiştirmemektedir. Ayrıca biyoetanol üretimi sürecinin tamamı ele alındığında azot oksit emisyonu değeri çok daha yüksek çıkacaktır. Çünkü biyoetanol üretimi ve hammadde yetiştirilmesi gibi süreçlerde fazlasıyla azot oksit ortaya çıkmaktadır (IEA, 2004).

Biyoetanolün benzine katılması ile birçok zehirleyici hava atığı da azaltılmış olur. Bunun yanında kanserojen bir madde olan asetaldehit, formaldehit ve peroksiasetil nitrat emisyonları artmaktadır. Ancak zehirli emisyonlardan olan benzen, 1,3 bütadien, toluene ve ksilen değerleri azalmaktadır.

Çizelge 2.2 Biyoetanol-benzin karışımının emisyon değerlerine etkisi (IEA, 2004)

Genel olarak ölçülen hava kirleticileri	Biyoetanolün benzinle karışımı - Normal benzine göre	Biyoetanolün benzin ile karışımı - MTBE'li benzine göre
CO	-	-
NO _x	+	d. y.*
Egzoz UOB**	-	d. y.
Buharlaştırıcı UOB	+	d. y.
Toplam UOB	+	d. y.
Partikül Maddeler	-	-
Zehirli/Diğer hava kirleticiler		
Asetaldehit	+	+
Benzen	-	-
1,3 Bütadien	-	-
Formaldehit	+	-
Peroksiasetil Nitrat	+	+
İzobuten	-	-
Toluene	-	-
Ksilen	-	-

Not: “-” değerler emisyon değerindeki azalmayı, “+” değerler artışı ifade etmektedirler.

* d. y.: Değişim yok

** UOB: Uçucu Organik Bileşikler

Partikül maddelerle birlikte asetaldehit ve formaldehit yakıtta bulunmazlar fakat bunlar yan ürünlerdir. Bunlar atmosferde daha sonradan kimyasal tepkimeye girerek oluşurlar. Gözü tahriş edici ve bitkilere zararlı olan peroksiasetil nitrat da atmosferde uğradığı değişimle oluşmaktadır.

Çizelge 2.3 Ohio’da yapılan çalışmadan elde edilen emisyon değerleri (gr/km)

Emisyonlar	Esnek Yakıtlı Taşıt		Normal Araç (Benzin ile)
	E85 ile	Benzin ile	
NMHC	0,09	0,06	0,07
THC	0,12	0,07	0,08
CO	0,81	0,62	0,87
NO _x	0,06	0,05	0,14
Sera Gazları			
CO ₂	242	255	252
Metan	0,03	0,01	0,01
Aldehitler			
Formaldehit	$1,4 \times 10^{-3}$	$0,6 \times 10^{-3}$	$0,8 \times 10^{-3}$
Asetaldehit	$8,1 \times 10^{-3}$	$0,2 \times 10^{-3}$	$0,2 \times 10^{-3}$
Yakıt Ekonomisi			
L/100 km	14,9	11,1	11,0

EYT gibi özel uyarlanmış taşıtlarda kullanılan E85 gibi yüksek biyoetanol karışımlarının

çevreye yaydığı emisyonlar üzerine fazla bir çalışma yapılmamıştır. Fakat ABD'nin Ohio Eyaleti'nde yapılan bir çalışma düşük değerlerdeki karışımların değerlerine benzer sonuçlara ulaşmıştır. Yapılan çalışmada 10 adet EYT ile 3 adet normal benzinle çalışan araçlardan elde edilen veriler kullanılmıştır (IEA, 2004).

Çizelge 2.3'ten de görüleceği gibi E85 yakıtı kullanan EYT araçta benzin yakıtı kullanan normal araca göre NMHC (Metansız Hidrokarbon) ve THC (Toplam Hidrokarbon) emisyon değerleri biraz fazla, CO (Karbonmonoksit) ve NO_x (Azot Oksit) emisyon değerleri az çıkmıştır. Tam çevrimde bir litre benzin yerine E10 yakıtı kullanıldığında eğer biyoetanol tahıldan üretilmişse toplam sera etkisi yapan gaz emisyonu %3-4, şayet biyoetanol selülozdan üretilmişse gaz emisyonu %6-8 düşürebilir. Yüksek oranda biyoetanol içeren karışımların kullanımı tüm üretim süreci göz önüne alındığında net emisyonları %40'a kadar düşürebilir (IEA, 2004).

Hacimsel olarak %10-15 biyoetanol içeren biyoetanol-dizel yakıtı karışımlarında da sadece dizel kullanımı durumuna göre partikül madde, azot oksit, karbonmonoksit emisyonlarının azaldığı belirtilmiştir. Yüksek oranlarda biyoetanol içeren karışımlar için uyarlanmış dizel motorlarda kullanılan biyoetanol-dizel karışımlarında ise bu oranlar daha olumlu derecelerde olmaktadır. İsveç'te yapılan testler sonucu E95 yakıtı ile çalışan dizel motora sahip otobüslerde dizelle çalışan otobüslere göre karbonmonoksit (CO) için %92, hidrokarbon (HC) ve partikül madde için %80 ve azot oksitler (NO_x) için %28'lik bir azalma tespit edilmiştir (IEA, 2004).

Biyoetanolün sera etkisi yapan gazlara ve hava kirliliğine yol açan emisyonlara etkisi sürekli olarak göz önünde bulundurulmasına rağmen, çoğu zaman dikkate alınmayan diğer etkileri de bulunmaktadır. Bunlar içinde biyoetanol üretiminde kullanılan mahsulün yetiştigi toprağa etkisi ve buradaki habitata etkisi de sayılabilir. Bu faktörlerin etkisi değişkenlik gösterir ve bunlar yakıtın nasıl üretilip kullanıldığına bağlıdır. Örneğin burada sıra dışı bir örnek olarak bir yağmur ormanının yok edilip yerine biyoetanol mahsulü ekilmesi ele alınırsa sonuçta elde edilen netice doğal olarak olumsuz olacaktır. Genel olarak artan biyoetanol tarımı sayesinde, üretilen biyoetanol ve bu biyoetanolün araçlarda yakıt olarak kullanılması ile elde edilen çevresel neticeler olumlu yöndedir.

Biyoetanol yapımında kullanılan atık ürünler de çevresel açıdan açık bir fayda sağlamaktadır. Biyoetanol; mum yağı, kızartma yağı, mahsul artığı ve şehir atığı gibi atık ürünlerden elde edilebilmektedir. Bu tür atıklar biyoetanol üretiminde kullanıldığı takdirde çevre açısından

fazladan bir fayda sağlanmış olunacaktır.

Biyoetanol karışımli benzinler diğ er oktan artırıcı katkılara oranla insan sağ lı ğ ına ve ç evreye daha az zararlıdır. Örneğ in kurş unun günümüzde insan sağ lı ğ ına olan zararları devamlı olarak belirtilmektedir. Kurş unun son 30 yıl iç erisinde kullanımının büyük oranda ortadan kaldırılması ile MTBE kullanımı bir oktan artırıcı olması nedeni ile artmı ş tır. Bu madde metanolün izobutilenle tepkimesinden oluş an, belli derecede zehirli, kolay tutuş ucu, renksiz bir sıvıdır. MTBE'nin yer altı suları ile karış tı ğ ı zaman olabilecek zararlı etkileri nedeni ile bazı yerlerde bu maddenin kullanımının yasaklaması biyoetanolün önemini artırmaktadır.

2.4.2 Uluslararası Çevresel Önlemler

1992 UNCED Rio de Janerio Konferansı'nda ekolojiyi bozan etkinliklerle fosil yakıt tüketiminin kısıtlanması kararlaşı tırılmış tır. 1997'de yürürlüğ e giren Kyoto Protokolü'nde yıllık CO₂ ve diğ er sera gazları emisyonlarının azaltılması iç in teknolojik önlemler yanında CO₂ özümlemesiyle temizleyici ortamların önemi vurgulanmı ş tır. Orman koruma, ağ aç landırmayla sürdürülebilir ormancılık ve tarımla toplam CO₂ ve sera gazları emisyonunu azaltan, ç evreyi koruyacak uygulamalar, yeni yenilenebilir enerji kaynaklarını gelişt irme, uygulama ve yaygınlaşt ırma ile arazi kullanımı düzenleme önlemleriyle 2008-2012 yılları arasında emisyonun 1990 düzeyine indirilmesi hedeflenmı ş tir. Geliş en ü lkelerle destek iç in teknoloji transferi, ikili, bölgesel ve diğ er düzeylerde iş birliğ i ö ngören 84 ü lkenin taraf olduğ u protokol 55 ü lke ve AB'nin emisyonlarını azaltmasını ö ngö rmü ş tür (Duygu, 2002). Türkiye'nin ü yesi olduğ u Dünya Enerji Konseyi'nin Yarın İ ç in Enerji Grubu da CO₂ emisyonu, küresel ısınma, kuraklaş ma, ç ö lleş me, erozyon kısır dö ngüsü yanında enerjide dış a bağı mlılık, istihdam ve kırsal fakirleş meyle savaş ımda etkin yöntem olarak biyokütle enerjisinin önemi üzerinde durmaktadır.

Türkiye'nin ü yesi olduğ u Uluslararası Enerji Ajansı'nda (IEA), Sürdürülebilir Kalkınma İ ç in Enerji konulu 16 Mayıs 2001 tarihli Bakanlar Toplantısında 2020'de zor koş ullarla karşı laşı lacı ğ ı, kalkınan ü lkelerdeki geliş me ve nüfus artışıyla talep patlaması sonucu küresel enerji gereksiniminde %60, fosil yakıt piyasasında önemli fiyat artışı, sera gazları emisyonu ve sıcaklık ortalamaları artışı olacağı ve iklim değ iş ikliğ i önlemlerinin yetersiz kalabileceğ i konusunda fikir birliğ ine varılmış tır. Ü lkelerin ulusal ve kolektif olarak enerji kaynaklarının çeş itlendirilmesi, yenilenir enerji payının arttırılması, Avrupa Birliğ i'nin titiz politikasının desteklenmesi iç in ç alışı lması gerektiğ i kabul edilmi ş tir. Küresel, bölgesel ve yerel sorunların politik, bilimsel ve teknik aç ılardan ç ö zümüyle sürdürülebilir kalkınmanın önemi

benimsenmiştir. Tüm taraflarca teknolojik gelişmelerin desteklenmesi, enerji güvenliği ve ekonomik büyüme kadar çevreyi koruma, yakıtların temiz kullanımı, yenilenir enerjilerden yararlanma konusundaki işbirliği AB, ABD, Kanada, Avustralya, Japonya ve Kore tarafından imzalanmış, işbirliği için internet servisleri geliştirilmiştir (Duygu, 2002).

3. BİYOETANOLÜN ÖZELLİKLERİ, HAMMADDELERİ VE TÜRKİYE’NİN TAHMİNİ BİYOETANOL İHTİYACI

Yakıt olarak kullanılan etanolün (biyoetanol) renksiz, berrak ve hoş kokulu bir karakteristiği vardır. Su eklenerek oluşturulan sulu çözeltileri içecek olarak da kullanılmaktadır, ancak yoğun çözeltilerinin yakıcı bir tadı vardır. Etanol çoğu zaman alkol kelimesinin yerine de kullanılmaktadır. Alkol kelimesi ise Arapça’daki al-kuhul kelimesinden gelmektedir, bu da eskiden rastık taşlarında kullanılan bir tür pudra olarak bilinmektedir. Ortaçağda kimyacılar, damıtma ile rafine edilmiş ürünler elde ederek etanolün günümüze kadar olan üretim sürecini başlatmışlardır.

3.1 Biyoetanolün Fiziksel, Kimyasal ve Termal Özellikleri

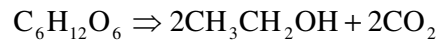
Etanol, alkoller diye anılan organik bileşikler sınıfının en önemli üyesidir. Moleküler formülü (C_2H_5OH) göz önüne alındığında, doymuş bir hidrokarbon olan etanın (C_2H_6) altı hidrojeninden birinin yerine bir hidroksil grubunun (OH) geçmiş şekli olarak kabul edilir.

Etanol $78,5^{\circ}C$ ’de kaynar $-115^{\circ}C$ ’de donar. Sıcaklıkla hacim büyümesi nispeten düzgün olduğundan, hava sıcaklığını ölçen termometrelerde bir termometre sıvısı olarak kullanılır. Sıvı seviyesinin rahat görülmesi için bir boyar madde konur. Özgül ağırlığı $20^{\circ}C$ ’de $0,79 \text{ kg/dm}^3$ ’tür. Etanol, aynı miktarda su ile karışık olduğunda bile soluk, mavimsi, ıssız bir alevle yanar. Su, eter ve asetonda her nispete karışır. Suyla karışınca bir hacim küçülmesi olur. Örneğin, 52 hacim alkol ve 48 hacim su karıştırıldığında 100 hacimlik değil de, 96,3 hacimlik bir çözelti meydana gelir.

Etanolün üç önemli üretim kaynağı vardır:

Fermantasyon ile Üretim

Alkolik fermantasyonda şekerler başlıca olarak monosakkaritler (glikoz ve früktoz), kompleks enzim ihtiva eden maya mevcudiyetinde, etanol ve karbondioksit verecek şekilde bozunurlar:



Tamamen parçalanmada 100 gr glikozdan 51,1 gr etil alkol ve 48,9 gr karbondioksit meydana gelir. 100 gr sakkarozdan hidrolizle oluşan 2 molekül glikozdan 53,8 gr ve 100 gr nişastadan hidrolizasyonu izleyen işlemlerde oluşan n molekül glikozdan 56,8 gr etanol olduğu teorik olarak hesaplanmıştır. Ancak, kullanılan mikroorganizma, hammaddenin bileşimi ve fermantasyon koşullarının, fermantasyon sırasında oluşan yan ürünlerin çeşidi ve miktarı

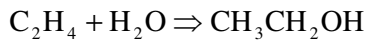
üzerinde rol oynadığı anlaşılmıştır (Avcı, 2004). Bu randımana gerçekte erişilemez. Çünkü maya hücreleri diğer metabolizma olayları için aynı şekilde monosakkaritleri harcamaktadır. Optimum mayalanma şartları maya hücrelerinin yaşama şartları ile belirlenir. Gıda eriyiğindeki belirli protein ve mineral madde miktarı maya gelişmesini teşvik eder. Optimum mayalanma sıcaklığı maya çeşidine göre, 20°C ile 30°C arasında bulunur. Alkol fermentasyonu etil alkol miktarı %10-18 arasında olduğu zaman durmaktadır. Çünkü etanol metabolizmanın artık ürünü olarak büyük konsantrasyonlarda mikroorganizmaların hayati faaliyetlerini önlemektedir. Endüstride alkolik fermentasyonda başlama maddesi olarak saf glikoz kullanılmaz. Bunun yerine melas (şeker rafinasyonu artığı) veya nişastalı ürünler (patates, mısır, buğday, arpa) kullanılır. Nişasta içeren ürünler bir dönüşüm basamağından sonra glikoza dönüştürülerek fermentasyona tabi tutulur.

Fermentasyon neticesinde etanol çözeltisi elde edilir. Etanol daha sonra damıtma ile fermentasyon ortamından ayrılır.

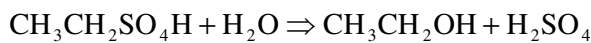
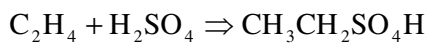
Alkol su ile azeotrop karışım yapar ve bu nedenle alkol su karışımından damıtma sonucu elde edilen etanol, %96 oranında etanol ve %4 oranında su içerir. Bu %4'lük su damıtma yolu ile doğrudan ayırlamaz. Susuzlaştırma işlemi için iki yöntem mevcuttur. Birinci yöntemde azeotrop noktayı kırmak için genellikle benzen karıştırılarak karışım tekrar damıtmaya tabi tutulur. İkinci yöntemde ise su ve etil alkol moleküllerinin büyüklüklerinin birbirinden farklı olmasından yararlanılarak karışım moleküler membran filtrelerden süzülerek etil alkol susuzlaştırılır.

Etilenin (C₂H₄) Hidrasyonu ile Üretim

Endüstriyel üretimde önemli bir metottur. Bir petrol ürünü olan etilenin hidrasyonu (bir su molekülü katılması) değişik şartlarda yapılabilir. Etanol üretimi, etilenin asit katalizör yardımı ile hidrasyonu şeklinde şu kimyasal denklem ile ifade edilir;



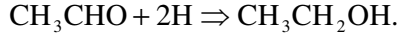
Daha eski bir yöntem ve artık tercih edilmeyen yol ise şu şekildedir: Etilen, 100°C'de derişik sülfirik asitle tutulduğunda etil sülfat ara ürünü meydana gelir:



Reaksiyon karışımı eşdeğer miktarda sıcak su ile hidroliz edilir. Etanol ve sülfürik asit meydana gelir.

Asetaldehidin (CH_3CHO) İndirgenmesiyle Üretim

Asetilen kullanılarak elde edilen asetaldehit, 100-130°C’de nikel katalizörlüğünde hidrojenlenerek etanole indirgenir:



Etanol bütün alkollü içkilerde bulunmaktadır. İyi bir çözücü olduğu için, esansların yapımında, parfümeride kullanılır. Kimya endüstrisinde bir çok organik bileşiğin (asetaldehit, asetik asit, etilasetat, etilklorür ve butadien gibi) üretiminde başlama materyalidir.

Biyoetanolün fiziksel, kimyasal ve termal özellikleri Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.1 Biyoetanolün fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlık (20°C)	0,79 kg/dm ³
Buhar Basıncı (38°C)	50 mmHg
Kaynama Noktası	78,5°C
Dielektrik Katsayısı	24,3
Suda Çözünme	Sonsuz

Çizelge 3.2 Biyoetanolün kimyasal özellikleri

Formül	C ₂ H ₅ OH
Moleküler Ağırlık	46,1
Karbon	%52,1
Hidrojen	%13,1
Oksijen	%34,8
C/H Oranı	4
Stokiyometrik Hava/Etanol (ağırlıkça)	9,0

Çizelge 3.3 Biyoetanolün termal özellikleri

Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	26.784
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	425
Özgül Isı (kJ/kg°C)	2,5
Donma Noktası (°C)	-115

3.2 Biyoetanolün ve Benzinin Yakıt Olarak Özelliklerinin Karşılaştırılması

Her yakıtın motor performansını etkileyen kendine özgü belli özellikleri vardır. Motorlar ortaya konulan yakıttan azami verim almak için tasarlanırlar, dolayısı ile mevcut yakıttan daha farklı bir yakıt motorlarda kullanıldığında performans büyük bir ihtimalle düşecektir. Motor performansının yakıtla olan ilişkisini gösteren bilinen bir örnek sıkıştırma oranı ile oktan kalitesi arasındaki ilişkidir. Belli bir sıkıştırma oranında yeterli miktarda oktan sayısına sahip yakıt iyi çalışacaktır, fakat bu oktan sayısı düşünce performans da ona bağlı olarak düşecektir.

Enerji yoğunluğu, buharlaşma ısısı, özgül enerji, tutuşabilirlik sınırları, yanma hızı ve sıcaklığı gibi değerler yakıtların motor performanslarına etkilerini değerlendirmede kullanılan bir takım kriterlerdir. Biyoetanolün ve benzinin kendine özgü bu değerlerinin karşılaştırılması kuramsal olarak yapılabilir. Bunun yanında deneysel karşılaştırmalar da ortaya konulabilir. Çizelge 3.4’te biyoetanolün ve benzinin özelliklerinin bir karşılaştırılması görülmektedir.

Biyoetanolün belli bir kaynama noktası, özgül ağırlığı, buharlaşma ısısı değerleri varken, içerisinde çeşitli bileşiklerin olduğu benzin veya benzin-biyoetanol karışımının bu değerleri ele alınan yakıtta göre değişmektedir.

Enerji yoğunluğu (belli bir hacimde yakıttaki enerji miktarı) kavramı motor performansını doğrudan etkileyen bir etken değildir. Fakat bu kavram yakıt tankının hacmini ve ağırlığını etkilemektedir, dolayısı ile araç ile beraber taşınacak olan yakıt miktarını belirlemektedir. Bu yüzden de aracın yakıt tüketimi ile ilgisi vardır. Biyoetanolün benzine göre enerji yoğunluğu düşüktür. Yapılan bir çalışmada enerji yoğunluğunun düşük olması nedeni ile taşınması gereken fazladan yakıtın yakıt verimini %1 oranında etkilediği ortaya konulmuştur (Wyman, 1996).

Çizelge 3.4 Biyoetanol ve benzinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması (Wyman, 1996)

Yakıt Parametresi	Biyoetanol	Benzin
Kaynama Noktası	78,5°C	27°C - 225°C
Yoğunluk	0,79 kg/dm ³	0,72 kg/dm ³ - 0,78 kg/dm ³
Buharlaşma Isısı	842 kJ/kg - 930 kJ/kg	325 kJ/kg - 395 kJ/kg
Tutuşabilirlik Sınırı	%3,3 - %19	%1 - %8
Stokiyometrik Hava/Yakıt Oranı (ağırlıkça)	8,97 - 9,0	14,5 - 14,7
Yanma Sıcaklığı	1.930°C	1.977°C
Net Yanma Isısı	21.098 kJ/dm ³ - 21.181 kJ/dm ³	30.378 kJ/dm ³ - 33.165 kJ/dm ³
Oktan Sayısı [(A+M)/2]*	96 - 113	85 - 96
Özgül Enerji (AID/HY)**	3.000 kJ/kg	2.920 kJ/kg

Çizelge 3.4'ten de görüldüğü gibi biyoetanolün benzine göre daha yüksek bir buharlaşma ısısı değeri vardır (yaklaşık olarak 890 kJ/kg). Motordaki hava akımı içerisinde yakıtın buharlaşması ile hava, bu buharlaşmanın etkisi ile soğur. Böylelikle motor silindirine daha fazla miktarda hava alınabilmektedir. Bu etki motor gücünü artırır ve azami yanma sıcaklığı ile motordaki termal yükü düşürür.

Biyoetanolün 9/1 stokiyometrik hava/yakıt oranı sayesinde hava ile soğutma etkisi 77°C olabilmektedir, bu değer benzinde ise 7°C olarak kalmaktadır. Ancak bu etki yakıtın tutuşmasının ve buharlaşmasının zor olduğu soğuk çevresel şartlardaki ortamlarda olumsuz olabilmektedir (Wyman, 1996).

* A: Araştırma oktan sayısı, M: Motor oktan sayısı.

** AID: Alt ısı değeri, HY: Hava/yakıt oranı

Düşük yanma sıcaklığı motordaki ısı kaybını azaltmaktadır ve termal verimliliği artırmaktadır. Biyoetanolün 1930°C olan yanma sıcaklığı benzinin 1977°C olan yanma sıcaklığından düşüktür ve bu motor verimini artırıcı etki yapmaktadır. Ayrıca biyoetanolün düşük alev parlaklığı radyasyon yolu ile olan ısı kaybını azaltarak ve düşük nitrik oksit emisyonuna yol açması ile olumlu bir etki yapmaktadır.

Yakıtların motordaki ısı etkilerini karşılaştırmada kullanılan bir diğer önemli parametre de özgül enerjidir. Kuramsal özgül enerji, yakıtın alt ısı değerinin hava/yakıt oranına bölünmesi ile elde edilir. Dolayısı ile bu değer yanma odasında belli miktar hava ile ortaya konulan enerjiyi ifade etmektedir. Yüksek özgül enerji değeri motordan yüksek güç sağlanacağını ortaya koymaktadır. Biyoetanolün özgül enerjisi 3000 kJ/kg iken benzinin 2920 kJ/kg'dır (Wyman, 1996).

Biyoetanolün benzine göre yüksek oktan sayısına sahip olması motorda daha fazla sıkıştırma yapılabileceği anlamına gelmektedir. Yakıtın oktan değeri onun, tutuşmadan ne kadar sıkıştırılabileceğini gösterir. Düşük oktanlı yakıtlar ancak en az sıkıştırma oranına kadar dayanabilirler. Dolayısı ile yüksek oktanlı yakıtlarla motordan daha iyi verim alınabilmektedir. Biyoetanolün benzine bu alandaki üstünlüğü de Çizelge 3.4'te görülmektedir.

Ateşlendikten sonra biyoetanol benzinden daha hızlı bir şekilde yanmaktadır, dolayısı ile daha verimli bir tork değeri elde edilmektedir. Biyoetanolün benzine göre yüksek değerlerde daha geniş bir tutuşabilirlik sınırı vardır. Bu sınırın yüksek olması ile her bir devirde daha fazla yakıt alınarak daha büyük bir güç elde edilebilir, ancak böylelikle verim düşmektedir.

3.3 Biyoetanolün Yakıt Olarak Kullanılması

Biyoetanol taşımacılık ve tarım sektöründe yaygın olarak içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Biyoetanol doğrudan benzinin yerine yüksek karışım oranlarında (E85 gibi) veya oktan yükseltici olarak düşük karışım oranlarında benzinle karıştırılarak (E10 gibi) kullanılabilir, ayrıca biyoetanol ile dizel yakıtı karışımları çalışmalarında ilerlemeler kaydedilmiştir. Dünya üzerinde biyoetanolün yakıt olarak kullanılması daha çok düşük karışım oranları şeklinde olmaktadır.

Her ne kadar biyoetanol saf olarak (hacimsel olarak %96 biyoetanol, %4 su) Brezilya'da senelerden beri kullanıla gelse de, dünyadaki biyoetanol tüketiminin çoğu susuzlaştırılmış biyoetanol şeklinde olmaktadır. Benzin ve su tam homojen bir karışım oluşturamadığı için

susuzlaştırma yapılmamış biyoetanol benzine karıştırıldığında bulanık bir görüntü oluşur ve karışım benzin ve biyoetanol/su fazlarının ayrışması ile sonuçlanır. Bu faz ayrışması motorlarda performans düşüşü ve arızalara neden olur. Bu nedenle benzine karıştırılacak biyoetanolün su içermemesi, yani susuzlaştırılması gereklidir.

Susuzlaştırılmış biyoetanol (%99 ve üzeri biyoetanol) benzine %15'e varan oranlarda katılarak elde edilen yakıt buji ateşlemeli motorlarda herhangi bir uyarlama gerektirmeksizin kullanılabilir.

Susuzlaştırma işlemi için iki yöntem mevcuttur, şartlara göre bu iki yöntemden birisi tercih edilebilir. Birinci yöntemde alkolde kalan %4'lük suyu uzaklaştırmak maksadıyla karışıma azeotrop noktayı kırmak için genellikle benzen karıştırılarak karışım tekrar damıtmaya tabi tutulur. Su-alkol-benzen üçlüsü damıtıldığında su bitinceye kadar su-benzen ve alkol karışımı işleme tabi tutulur. Daha sonra da benzen bitinceye kadar alkol-benzen karışımı geçer. Geriye saf alkol kalır. Laboratuvar ölçeğindeki saflaştırmalarda suyu uzaklaştırmak maksadıyla kalsiyum oksit, kalsiyum ve magnezyum kullanılır. Bu yöntemin olumlu yanı ucuz olmasıdır, ancak dikkat edilmesi gereken nokta benzenin kanserojen olması nedeni ile çok sıkı kontrol gerektiğidir. İkinci yöntemde su ve etil alkol moleküllerinin büyüklüklerinin birbirinden farklı olmasından yararlanılarak karışım moleküler membran filtrelerden süzülerek etil alkol susuzlaştırılır. Bu yöntemde filtrasyon sisteminin yatırım maliyeti yüksektir, ancak çalıştırılması otomatik ve kolaydır.

3.3.1 Biyoetanolün Yüksek Karışım Oranlarında Yakıt Olarak Kullanılması

Biyoetanol saf olarak (hacimsel olarak %96 biyoetanol, %4 su) veya E85 (hacimsel olarak %85 biyoetanol, %15 benzin) gibi susuzlaştırılarak yüksek oranlarda buji ile ateşlemeli dört zamanlı motorlarda uyarlama yapılarak doğrudan benzin yerine kullanılabilir. Çeşitli ülkelerdeki başarılı düşük karışım oranlarındaki biyoetanol kullanımı girişimlerinin yanı sıra yüksek karışım oranlarındaki biyoetanolün yakıt olarak kullanımı da dikkat çekmeye başlamıştır.

Biyoetanolün yüksek karışım oranlarında kullanılması her ne kadar düşük oranlardaki kullanımın gerisinde kalsa da günümüzde hızlı bir gelişim göstermeye başlamıştır. Özellikle ABD'de hükümetin teşviki ile E85 kullanımı büyük bir ilerleme kaydetmiştir. ABD'de E85 yakıtını satan istasyon sayısı 700'ü geçmiştir. İsveç de E85 kullanımında öncü ülkelerdendir. İsveç'te 320 civarında yüksek karışımında biyoetanol satılan istasyon bulunmaktadır (SAGM, 2006).

Yüksek karışımlardaki biyoetanolün kullanılabilmesi için Esnek Yakıtlı Taşıt (EYT) denilen taşıtlar gereklidir. Esnek Yakıtlı Taşıtlar hem benzinle hem de biyoetanol ile çalışabilen taşıtlara verilen isimdir. Sıradan taşıtlarla Esnek Yakıtlı Taşıtlar arasındaki fark yakıt sistemindeki bir bilgisayar mikro işlemcisidir. Bu mikro işlemci depoya ne tür bir yakıtın konulduğunu algılar ve otomatik olarak motorun ateşleme zamanlamasını ve hava/yakıt karışım oranlarını ayarlar. Bu sayede herhangi bir benzin-biyoetanol karışımı oranı için optimum motor performansı sağlanır (IEA, 2004). Birçok büyük otomobil üretici firması Esnek Yakıtlı Taşıt üretimi yapmaktadır. Bu araçlar ABD’de yaygın olarak kullanılmaktadır. İsveç başta olmak üzere birçok Avrupa ülkesinde de Esnek Yakıtlı Taşıt taşıtlarının kullanımı yaygınlaşmaktadır.

Saf biyoetanolün yakıt olarak kullanılması ise daha farklı tasarlanmış motor ile mümkün olmaktadır. Bu tarzdaki motorlar Brezilya’da yıllardır kullanılmaktadır. Saf biyoetanol kullanıldığında paslanma etkisi daha fazla olduğundan motorların bu etkiden korunması lazımdır. Saf biyoetanolün olumlu yanı, biyoetanol içersindeki suyun biyoetanolden ayrıştırılma süreci yapılmadığından ucuz olmasıdır.

Biyoetanolün tam yanması için gerekli hava/yakıt oranı 9/1’dir. Benzinde bu oran 14,5/1’dir, bu nedenle aynı miktarda hava ile yanabilecek biyoetanol miktarı benzinden biraz daha fazladır. Araçlar yakıt olarak alkol kullanırken yakıt tüketimleri benzin kullanıldığı duruma göre artış göstermektedir.

Yüksek karışım olarak kullanılan biyoetanolün düşük sıcaklıklarda benzine oranla daha düşük bir buhar basıncı vardır, dolayısı ile yanma odasında ateşleme daha zor olmaktadır. Bu yüzden soğuk ateşleme emisyonlarını düşürmek ve soğuk ateşleme sürecinin etkilerini azaltmak için yüksek karışimli yakıt ısıtılmalıdır. Isıtma, yakıt sistemi içindeki bir ısıtma manifoldu ile veya hava ısıtıcısı ile gerçekleştirilebilir. Bu sorundan kaçınmanın bir başka yolu da düşük sıcaklıklarda depoya belli miktarlarda benzin eklenmesidir.

Alkoller plastik, kauçuk, elastomer gibi maddeleri olumsuz etkilemektedir, ayrıca alkollerin korozyon yapıcı etkisi benzinden daha yüksektir. Dolayısı ile biyoetanol, araçların yakıt sistemlerindeki yakıt basıncı düzenleyicisi ve yakıt enjektörü gibi bazı elemanlara zarar verebilmektedir. Yüksek karışımlarda, biyoetanol oranı fazla olduğundan bu gibi zararlı etkilerin derecesi de artmaktadır. Bu gibi sorunlar teflon ve yüksek florlu elastomer malzemeler kullanılarak aşılabılır. Paslanmaz çelik kullanılarak korozyon sorununun önüne geçilebilir. E85’e uyumlu bir araç üretmenin maliyeti fazladan birkaç yüz dolar artırdığı

belirtilmiştir (IEA, 2004).

İki zamanlı buji ateşlemeli motorlarda biyoetanol kullanımı, yağlayıcı yağ ile biyoetanolün karışmaması nedeni ile sınırlı birkaç çalışmada sadece tanım düzeyinde kalmıştır.

3.3.2 Biyoetanolün Düşük Karışım Oranlarında Kullanılması

Birçok ülkede biyoetanol kullanmaya yönelik çabalar daha çok düşük karışım oranları üzerine olmaktadır. Çoğu petrol şirketi ve otomobil üreticisi firmaların ortaya koyduğu gibi, benzinle çalışan ve son dönemlerde üretilen hemen hemen tüm otomobillerin, yakıtlarında %10 oranında biyoetanol (E10) ile çalışabilme kabiliyeti vardır. Bu araçların E10, E5 gibi düşük oranlarda biyoetanol karışımlı yakıt kullanarak çalışması için motorda herhangi bir uyarılma gerekmemektedir ve bu kullanım, üretici firmaların garanti kapsamının dışına çıkılmasına sebebiyet vermemektedir (IEA, 2004).

E10 ve E5 gibi düşük karışımlı biyoetanol yakıtlı araçlar dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uzun deneyim sürecinde güvenlik ve kullanım açısından dikkate değer olumsuz bir durum oluşmamıştır.

Düşük oranlarda biyoetanol kullanıldığında da yakıtın benzine oranla oktan sayısı daha yüksektir. Ayrıca oksijen içeriği daha fazladır ve benzine oranla daha iyi yanar. Dolayısı ile daha az zararlı emisyon değerlerine sahiptir (IEA, 2004).

Düşük oranlarda biyoetanol kullanımı motor aşınmasına benzin ile kıyaslandığında fazla bir etki yapmamaktadır. Bazı otomobil üretici firmaları %15 oranında olan karışım değeri ve üzerinde araçları garanti kapsamı dışında tutabilmektedirler.

Biyoetanol benzinle karıştırıldığında benzinin oktanını yükseltir, bu maksat için kullanılan MTBE vb. diğer katkılara gereksinimi ortadan kaldıracığından benzen gibi kanserojen zararlı emisyonların azaltılmasına yardımcı olur. MTBE kullanımı ABD'nin birçok eyaletinde yasaklanmıştır.

3.3.3 Biyoetanolün Dizel Yakıtı ile Karışım Olarak Kullanılması

Biyoetanol her ne kadar benzin ile karıştırılabilen bir alternatif yakıt kaynağı olarak düşünülse de dizel yakıtı ile karıştırılabilmektedir. Ancak biyoetanol doğal halinde dizel yakıt ile karıştırılamaz, emülsiyon halinde biyoetanolün dizel ile karışımı gerçekleştirilebilir.

Biyoetanol dizel yakıt ile karıştırıldığında yakıtın setan sayısını düşürmektedir. Dizel motorlarda yakıtın yanma kalitesi ölçüsü olarak setan sayısı kullanılır. Setan sayısı ne kadar

yüksekse yakıtın yanma eğilimi o kadar fazladır. Biyoetanolün bu etkisinden dolayı biyoetanol ve dizel karışımı uygulamaları sınırlı bir düzeyde kalmıştır. Biyoetanolün dizel yakıtı ile karıştırılması çalışmalarında odaklanılan önemli noktalardan birisi biyoetanolün dizel motorlarda sıkıştırılma ile ateşlenmesinin sağlanmasıdır (IEA, 2004).

Biyoetanol ve dizel yakıtının çözünürlük sorununu aşmak için birkaç yol geliştirilmiştir. Bunlardan birisi dizel motorlara karbüratör avantajlarını vermektedir. Dizel yakıtı silindire enjeksiyon ile verilmektedir ancak biyoetanol karbüratör ile silindire verilmektedir. Dolayısı ile her iki yakıt da silindire ayrı ayrı girmektedir ve burada ikili bir yakıt düzeninden bahsedilebilir (IEA, 2004).

Kuzey Avrupa’da %15 biyoetanol, %5’e kadar emülsiyon katkı maddesi içeren ve adına “E-dizel” denilen kapsamlı birkaç biyoetanol ve dizel yakıtı karışımları denemeleri gerçekleştirilmiştir. %5 oranındaki biyoetanol karışımlarında dahi, düşük sıcaklıklarda dizel yakıtı ile biyoetanolün ayrışmaması için emülsiyon gereklidir. Emülsiyonun çözünürlük üzerindeki olumlu etkisinin yanı sıra yağlayıcılık, temizleme gücü ve düşük sıcaklıklardaki bazı avantajları da karışıma katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte biyoetanolün setan sayısını düşürücü etkisinden dolayı katkı maddesi setan sayısını artıracı etil heksil nitrat veya ditert bütıl peroksit içermelidir.

Avrupa (İsveç, Danimarka, İrlanda), Brezilya, Avustralya ve ABD’de düşük oranlardaki biyoetanol-dizel karışımları denemeleri milyon kilometreyi geçmiştir. İsveç’in Stockholm şehrinde çeşitli E-dizel ile çalışan şehir içi otobüsler yıllardır başarı ile kullanılmaktadır. Brezilya da 1990’ların sonlarından beri E-dizel kullanarak sıcak ve nemli iklimlerde de E-dizel kullanımının başarı ile sağlanabileceğini göstermiştir.

Yüksek oranlardaki biyoetanol ve dizel yakıtı karışım çalışmaları ise biyoetanolün ateşleme kısıtını çözmek üzerinde yoğunlaşarak sürmektedir.

3.4 Biyoetanolün Dağıtımı ve Depolanması

Biyoetanolün dağıtımı ve depolanması bir takım teknik ve operasyonel zorluk nedeni ile benzin dağıtım ve depolama sisteminden farklıdır. Bu zorlukların başında biyoetanolün suya olan duyarlılığı gelmektedir. Biyoetanol ortamdaki nemi emmeye eğilimli bir sıvıdır ve bu yüzden farklı bir taşıma ve depolama sistemi gerektirmektedir. Bu ihtiyaç, fazladan depolama ve benzin ile biyoetanolün karışımı için karışım ekipmanları gerektirmektedir. Biyoetanol ile dizel yakıtın karışımı olan ve içerisinde yaklaşık olarak %10 oranında biyoetanol bulunan E-

dizelin dağıtımı ve depolanması biyoetanol-benzin karışımı ile aynı olacağı düşünülmektedir (Reynolds, 2000).

3.4.1 Biyoetanolün Dağıtımı

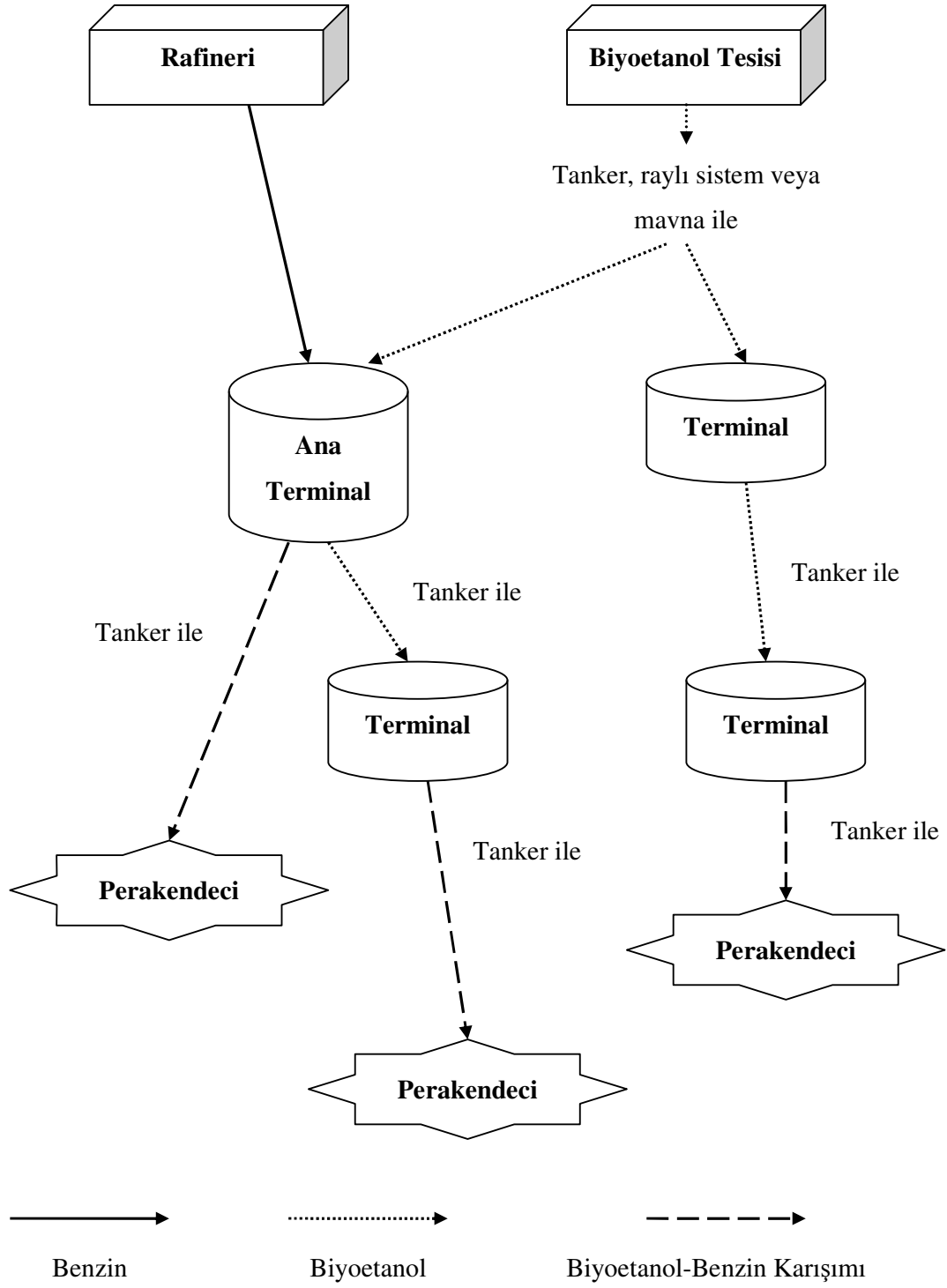
Biyoetanol dağıtım yapısı genel olarak biyoetanol üretim tesisinden ana depolama yerleri terminallere olan taşımaları kapsar. Biyoetanol değişik şekillerde tesisten taşınabilir; taşımalar tankerlerle, raylı sistemle ve mavnalarla olabilmektedir. Terminallere ulaşan biyoetanol daha sonra daha düşük miktarlarda tankerler aracılığı ile diğer terminallere veya benzin istasyonuna nakledilir. Biyoetanol tesisten ana terminallere taşınırken benzin ile karışımı henüz gerçekleşmemiştir. Bu ana terminallerden diğer terminallere taşınırken karışım olarak veya karıştırılmadan nakledilmektedir (Reynolds, 2000). Şekil 3.1’de biyoetanol dağıtım sisteminin yapısı görülmektedir.

Biyoetanol genellikle terminallerde benzin ile karıştırılmadan depolanmaktadır. Karıştırma işlemi terminallerden tankere doldurulurken yapılmaktadır. Bu yöntemin sebebi biyoetanolün fazladan nem tutmasını engellemektir. Terminalden tankere biyoetanol ve benzin dolumu yapılırken bir bilgisayar işlemcisi devreye sokulur ve bir karışım ünitesinde istenilen oranda ve hacimde bir karışım gerçekleştirilir. Daha sonra bu karışım tankere boşaltılır (Reynolds, 2000). Bu yöntemden farklı olarak benzin ile biyoetanol karışımı için birkaç yöntem daha vardır.

Sıralı karıştırma yöntemi denilen yöntemde yine bilgisayar yardımı alınarak işlem gerçekleştirilir fakat burada bir karışım ünitesi yoktur, biyoetanol ve benzin sıra ile istenilen karışım oranını verecek miktarda doğrudan tankere konulur. Bu yöntemde homojen bir karışım elde edilmesi işi tanker doldurulurken, seyahat esnasında ve boşaltılırken meydana gelen sallantılar tarafından gerçekleştirilir.

Terminallerdeki tanklarda benzin ile biyoetanol karışımı yapılması ise biyoetanolün nem tutabilme riski fazla olduğu için pek tercih edilen bir yöntem değildir. Benzin ile biyoetanolün karışımı gerçekleştirildikten sonra ise perakendecilere bilinen benzin dağıtım sistemi kullanılarak ulaştırılır.

Taşıma türü coğrafi konum, uzaklık ve biyoetanol tesisinin üretim kapasitesi ile alakalı olarak belirlenir. Bununla birlikte operasyonel verimlilik ve maliyet faktörleri de taşıma türü seçiminde rol oynamaktadır.



Şekil 3.1 Biyoetanol dağıtım sisteminin yapısı (Reynolds, 2000)

Sahil kenarındaki pazarlar için büyük miktarlarda biyoetanol nakliyesi mavnalar vasıtası ile yapılabilmektedir. Limandaki kargo hareketleri ve taşımacılık maliyeti raylı sistem maliyetine yakındır. Bu taşımacılık türü uzak mesafeler ve büyük miktarlardaki biyoetanol nakliyesinde tercih edilmektedir.

Biyoetanol, üretim tesislerinden terminallere raylı sistem aracılığı ile de taşınabilmektedir. Raylı sistemde biyoetanol ray üzerinde giden özel demiryolu arabaları ile taşınmaktadır, dolayısı ile tesisin ve terminalin bu arabalara uygun ekipmanlara ve sisteme sahip olması gerekmektedir. Terminalden sonra ise biyoetanol tankerler ile taşınacaktır. Eğer deniz yolu ile ulaşım yapılamıyor ve taşıma mesafesi orta veya büyük değerde (örneğin 450 km'den 3200 km'ye kadar) ise raylı sistem tercih edilmektedir. Mavna taşımacılığına göre her bir birim için daha az hacimde taşımacılık, raylı arabaların fazlalığı, kargoların yüklenmesi ve incelenmesi için daha fazla işgücü gereksinimi raylı taşımacılığı daha fazla çaba gerektiren bir seçenek haline getirmektedir (Reynolds, 2000).

Biyoetanolün tankerler ile taşınması yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Düşük mesafelerdeki (örneğin 450 km'den az) taşımacılık için tankerler verimli bir seçenek oluşturmaktadır. Uzak mesafelerdeki pazarlar için ise raylı sistemin ve deniz taşımacılığının mümkün olmadığı durumlarda tanker taşımacılığı kullanılabilir.

Biyoetanolün dağıtımı sürecinde taşıma türü seçiminde biyoetanol üretim tesisi de rol oynamaktadır. Yıllık 35 milyon litre ve daha düşük biyoetanol üretim kapasitesine sahip olan küçük çaptaki üretim tesisleri çoğunlukla taşıma sürecinde tankerleri kullanmaktadırlar. Biyoetanol üretim kapasitesi 35 milyon litre ve daha az olan tesislerin raylı sistem arabalarını veya mavnaların tanklarını doldurmaları uzun süreler alacaktır ve verimsizliğe yol açacaktır (Reynolds, 2000).

Yıllık üretim kapasiteleri 35 milyon ve 100 milyon litre arası olan tesislerin nakliye işlemleri için raylı sistem bir alternatif haline gelebilmektedir. Bu kategorideki tesisler için mavna ile taşımacılık, üst sınırdaki kapasiteye sahip bir tesis için bile mavna tanklarını doldurmak günler alacağından yine uygun bir seçenek olarak gözükmemektedir.

Biyoetanol üretim kapasiteleri 100 milyon ve 200 milyon litre arası olan tesisler yine raylı sistem ve tanker taşımacılığını tercih etmektedirler. Ancak bu kategoride üst sınıra yakın olan tesisler uygun deniz taşımacılığı kabiliyetine sahip iseler mavnaları tercih edebilmektedirler.

200 milyon litre ve üzeri üretim kapasitelerine sahip olan tesisler ise kendi ortam ve şartlarına

uygun olarak her üç taşımacılık türünü de kullanabilmektedirler (Reynolds, 2000).

Bunların dışında biyoetanol taşımacılığında boru hattı sistemi de henüz kullanılmamasına rağmen göz önünde bulundurulmaktadır. Fakat boru hattı taşımacılığında biyoetanolün nem tutma hassasiyeti üzerinde önemle durulması gerekmektedir. Biyoetanol ve benzin karışımı, petrol ürünlerine nazaran daha güçlü bir çözücü etkiye sahiptir, dolayısı ile bilinen petrol boru hattı tipi ile taşındığında boru hattındaki nemi, pası ve diğer kirletici etkiye sahip maddeleri çözüp kendisi ile birlikte taşıyacaktır. Bunun neticesinde biyoetanol-benzin karışımı yakıtın kirlenmesinin önü açılmış olacaktır. Biyoetanol için özel bir boru hattı döşenmesi ise fazla maliyetli olacaktır. ABD’de yapılan testlerde biyoetanol-benzin karışımının boru hattından akışından önce nemi ve kirliliği temizleyici bazı çözümler denenmektedir. Boru hatlarının dikkate değer bir seçenek haline gelmesi için biyoetanol üretimlerinin belli bir seviyeye gelmesi gerekmektedir.

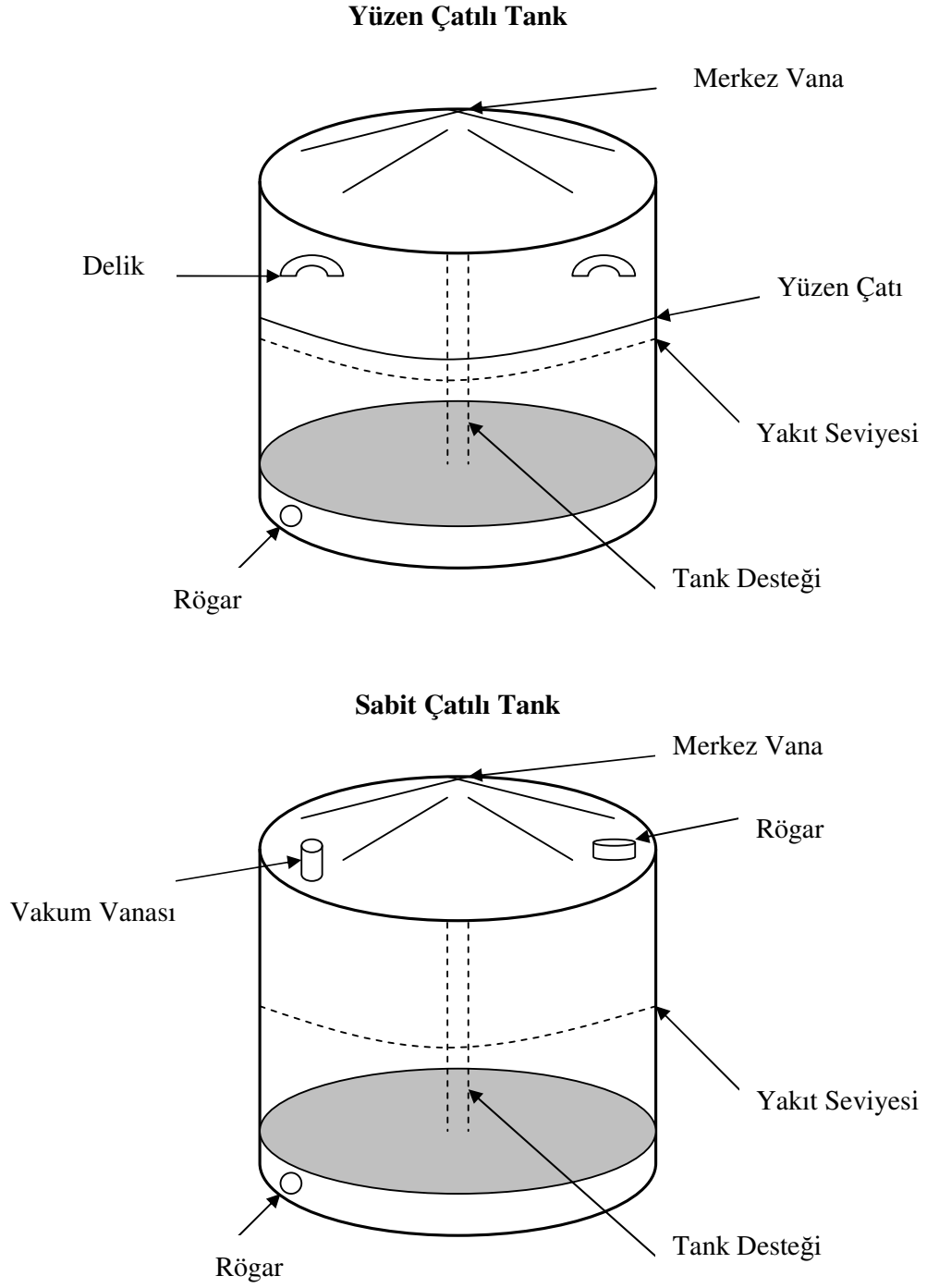
3.4.2 Biyoetanolün Depolanması

Biyoetanolün terminal çıkışında benzin ile karıştırıldığı düşünülürse terminalde biyoetanol depolama tankı, pompalama ekipmanı ve karışımın gerçekleştirilmesi için karışım biriminin olması gerekmektedir. Biyoetanol depolanması için mevcut bir tank bazı uyarlamalarla kullanılabilir. Biyoetanol depolamasında dikkat edilecek bazı hususlar vardır.

Biyoetanol depolamasında kullanılacak tankın büyüklüğü sadece talebi karşılayacak boyutta olmaması gerekir. Tesisten gelen biyoetanolün sürekli devam ettiği düşünülürse belli bir stok politikası çerçevesinde fazladan oluşabilecek depolama ihtiyaçlarına cevap verecek büyüklükte olmalıdır.

Tankın pompalama ekipmanları da biyoetanolün teslim alınış tarzına göre ve daha sonra karışım için karıştırma birimine pompalanmasına uygun olmalı veya uyarlanmalıdır.

Biyoetanol veya biyoetanol-benzin karışımı depolamasında kullanılacak tankın bir sabit ve bir de yüzen çatısı olması gereklidir (Şekil 3.2). Eğer sadece biyoetanol depolanacak ise ve uygun hava kalitesi gereksinimleri sağlanabilirse yüzen çatısı olmayabilir. Bu durumda nem soğurulması ve buharlaşma kayıplarını en aza indirmek için tanka vakum vanası konulmalıdır. Bu vakum vanası basınç ayarlaması yaparak buharlaşma kayıplarını azaltır ve yakıt tanktan boşaltılırken ortamdaki nemin içeri alınması oranını düşürür (Reynolds, 2000). Şekil 3.2’de biyoetanol depolama tankı örnekleri görülmektedir.



Şekil 3.2 Biyoetanol depolama tankı örnekleri (Reynolds, 2000)

Biyoetanol benzin ile tankere doldurulmadan önce bir karıştırma biriminde karıştırılabilmektedir. Bu şekilde bir düzende gerekli olan tanktan karıştırma birimine gidecek uygun bir pompalama sistemi, ölçme düzeneği ve yükleme koludur. Bu tipteki sistemler

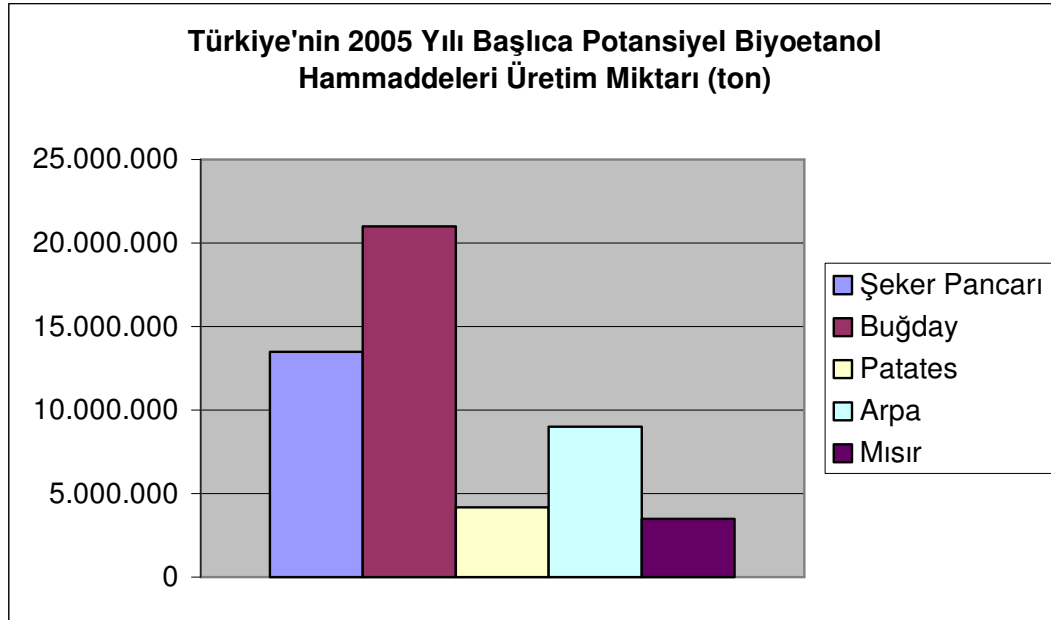
yıllardan beri kullanılmakta olmasına rağmen artık bilgisayar destekli karıştırma sistemleri tercih edilir olmaya başlamıştır.

Terminal operatörleri değişik kapasiteli pompalama sistemleri kullanarak kendi karıştırma ve pompalama sistemlerini tasarlayabilirler. Bu sistemler genellikle mekanik olarak tasarlanmışlardır ve karışım için gerekli olan oranlarda yakıt akışına izin verecek şekilde pompalama yapmaktadırlar.

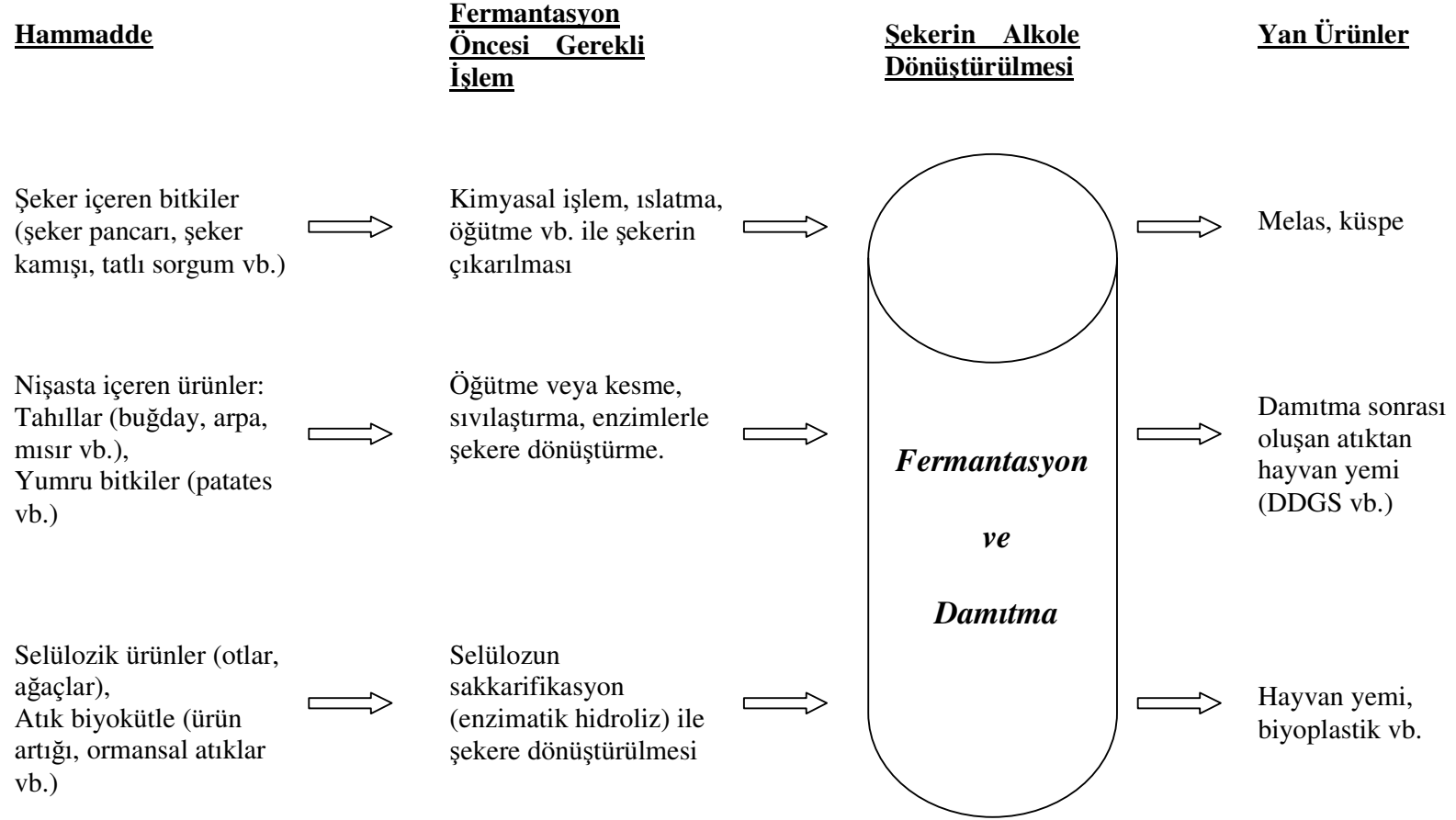
3.5 Türkiye’de Biyoetanol Üretimi İçin Kullanılabilecek Tarımsal Ürünler

Biyoetanol, içerisinde belli miktarlarda şeker bulunan veya nişasta ve selüloz gibi şekere dönüştürülebilecek madde içeren her türlü biyolojik hammaddeden üretilebilir. Nişasta veya şeker içeren arpa, buğday, mısır vb. tahıl ürünleri, şeker pancarı, şeker kamışı, patates, yer elması, tatlı sorgum bitkileri biyoetanol üretiminde kullanılabilir.

Biyoetanol hammaddelerinden şeker içerenler doğrudan fermantasyonda kullanılır, nişasta içerenlerse bir dönüşüm basamağından sonra şekere dönüştürülerek fermantasyona tabi tutulur (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 Türkiye’nin 2005 yılı başlıca potansiyel biyoetanol hammaddesi üretim miktarları



Şekil 3.4 Biyoetanol üretimi sürecinde kullanılan hammaddeler, işlemler ve yan ürünler

Türkiye'nin bulunduğu coğrafyada biyoetanol üretimi için ağırlıklı olarak şeker pancarı ve buğday kullanılmaktadır. Türkiye ile benzer coğrafik koşullara sahip Avrupa'da biyoetanol üretimi için kullanılan hammaddelerin yaklaşık %50'sini buğday oluşturmaktadır, bunun ardından sırayı yaklaşık %30'luk bir kullanım oranı ile şeker pancarı almaktadır, üçüncü sırada ise arpa yer almaktadır (IEA, 2004).

Dünyada biyoetanol üretimi için kullanılan veya potansiyeli olan tarıma dayalı hammaddelere bakıldığında ve bunların Türkiye üretimleri ortaya konulduğunda başlıca beş ürün ön plana çıkmaktadır (Şekil 3.3); bunlar şeker pancarı, buğday, patates, arpa ve mısırdır.

Genel olarak tarımsal ürünlerden biyoetanol üretimi süreci dört adımdan oluşmaktadır;

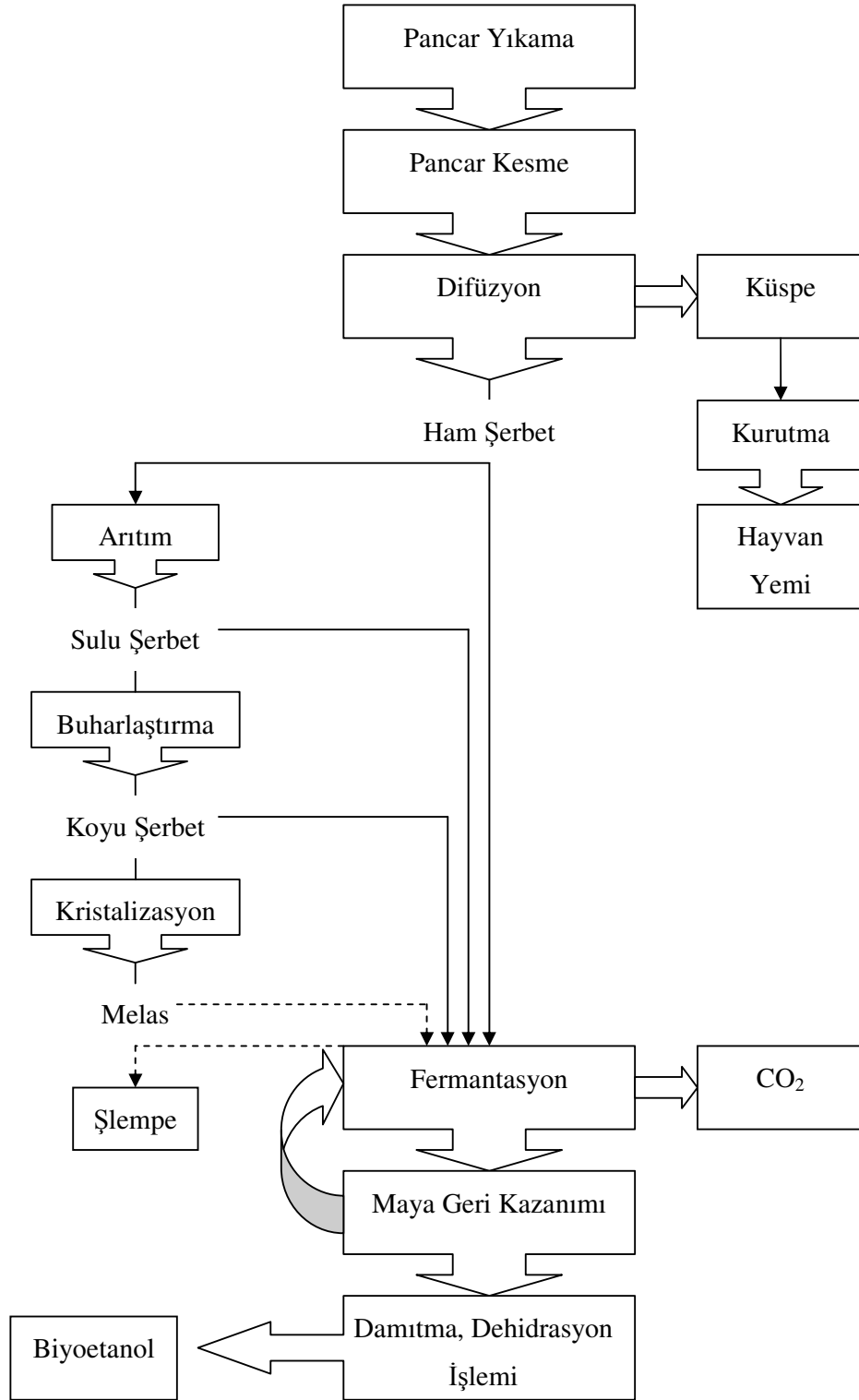
- Hammaddeden bir şeker çözeltisi elde etmek için işlem,
- Maya veya bakteri yardımı ile şekerin biyoetanol ve karbondioksit'e dönüştürülmesi,
- Biyoetanolün fermantasyon çözeltisinden damıtılması,
- Biyoetanolün dehidrasyonu.

Şeker içeren ürünlerden biyoetanol üretimi sürecinde ürün öncelikle içerisindeki şekerin ortaya çıkarılması için işleme tutulur (ezme, ıslatma ve kimyasal işlem gibi). Elde edilen şeker daha sonra biyoetanol üretmek için mayalar yardımı ile fermantasyona uğrattılır. Daha sonra ise fermantasyon çözeltisi biyoetanol istenilen konsantrasyona gelinceye kadar damıtılır. Son olarak ise susuz biyoetanol elde etmek için genellikle dehidrasyon işlemi yapılır.

Şekil 3.5'te şeker içeren ürünlerden şeker pancarının biyoetanol elde edilmesi sürecinde izlediği genel bir iş akış diyagramı görülmektedir. Ham şerbet ve ham şerbetin arıtılması ile elde edilen sulu şerbet biyoetanol üretiminde hammadde olarak kullanılabilir.

Ham şerbet ve sulu şerbet depolanamaz; sulu şerbetin koyulaştırılması ile elde edilen koyu şerbet ve koyu şerbetin kristalizasyonu ile elde edilen melas depolanabilir ve daha sonra biyoetanol üretimi için kullanılabilir. Melastan biyoetanol elde edildikten sonra geriye kalan çözeltiye şlempe denilmektedir ve hayvan yeminde kullanılır.

Nişasta içeren ürünlerden olan tahılların ve bazı diğer bitkilerin biyoetanol üretim süreci ise yıkama, kesme veya öğütme ile başlar. Öğütme işlemi yaş veya kuru öğütme olarak adlandırılan iki tipte olabilmektedir.



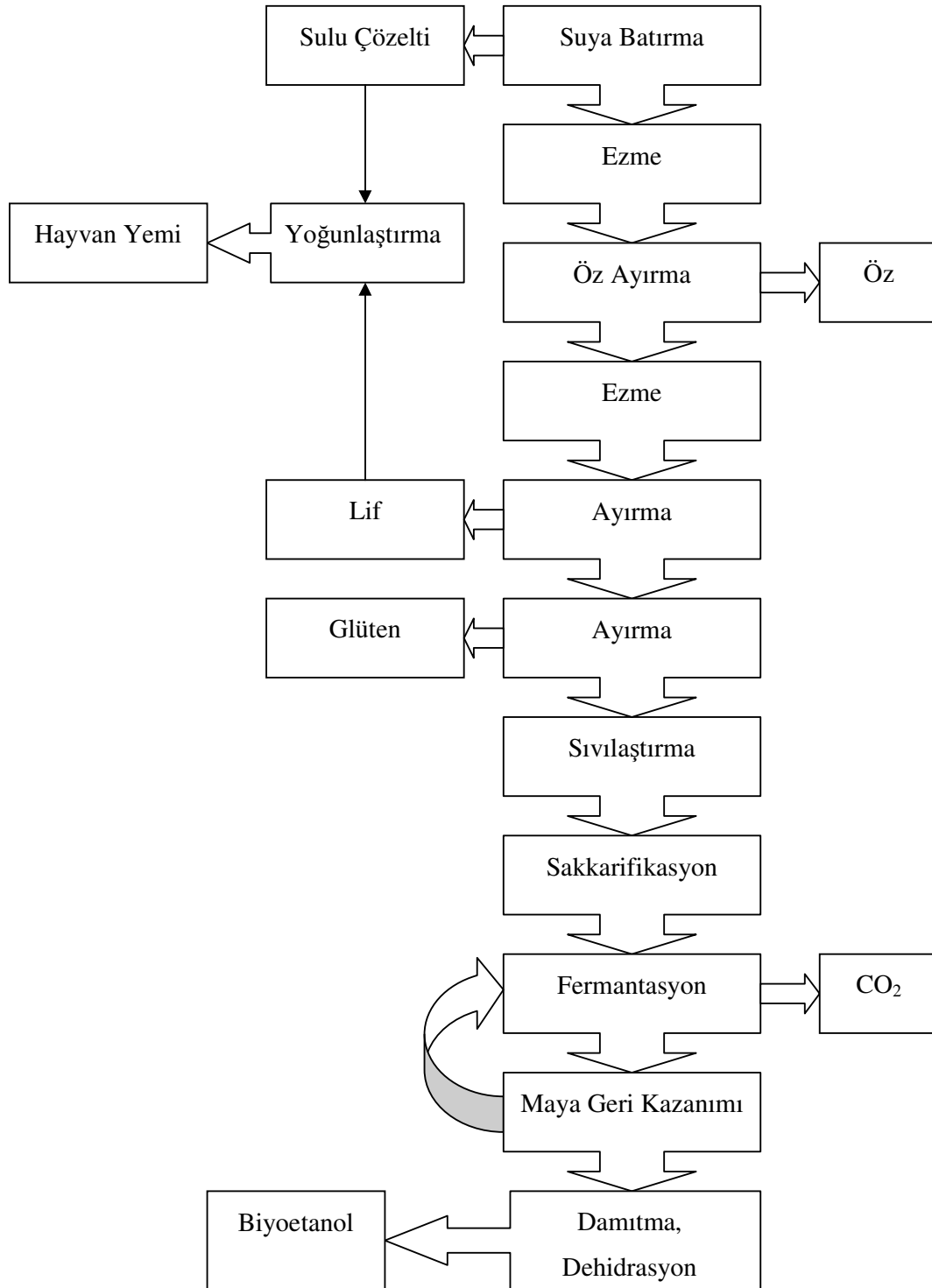
Şekil 3.5 Şeker pancarından biyoetanol üretimi için iş akış diyagramı

Yaş öğütme işlemi genellikle mısır ürünü hammadde olarak kullanıldığında söz konusu olmaktadır. Mısırın yaş öğütülmesi işleminde tahıl öncelikle su ve kükürtdioksit karışımı bir sıvıya 24 ila 48 saat batırılmaktadır. Bu işlemin ardından ezme işlemi gelmektedir (Şekil 3.6). Bu süreç ile tahıldaki yağ, öz ve protein nişastadan ayrılır ve sonraki aşama için nişastaca zengin karışım ortaya çıkarılmış olur. Bu aşamadan sonra elek ve santrifüj ayırıcılar ile glüten ve lif de karışımdan ayrılır. Lif ve ilk adım olan suya bastırmadan elde edilen sulu karışım yoğunlaştırılarak hayvan yemi olarak elden çıkarılabilir. Nişasta karışımı ise pişiricilerde alfa-amilaz enzimi ile beraber sıvılaştırma işlemine girer. Nişastanın sıvılaştırılmasının gerçekleşmesi için karışım ısıtılır. Daha sonra lapa halindeki karışım soğutularak gluko-amilaz enzimi katılır ve nişasta şekere dönüştürülür, bu aşama sakkarifikasyon aşaması olarak adlandırılır. Elde edilen şeker daha sonra biyoetanol üretmek için mayalar yardımı ile fermantasyona uğrattılır. Fermantasyon çözeltisi biyoetanol istenilen konsantrasyona gelinceye kadar damıtılır ve dehidrasyon işlemi yapılır (Meyers Norris Penny LLP, 2004).

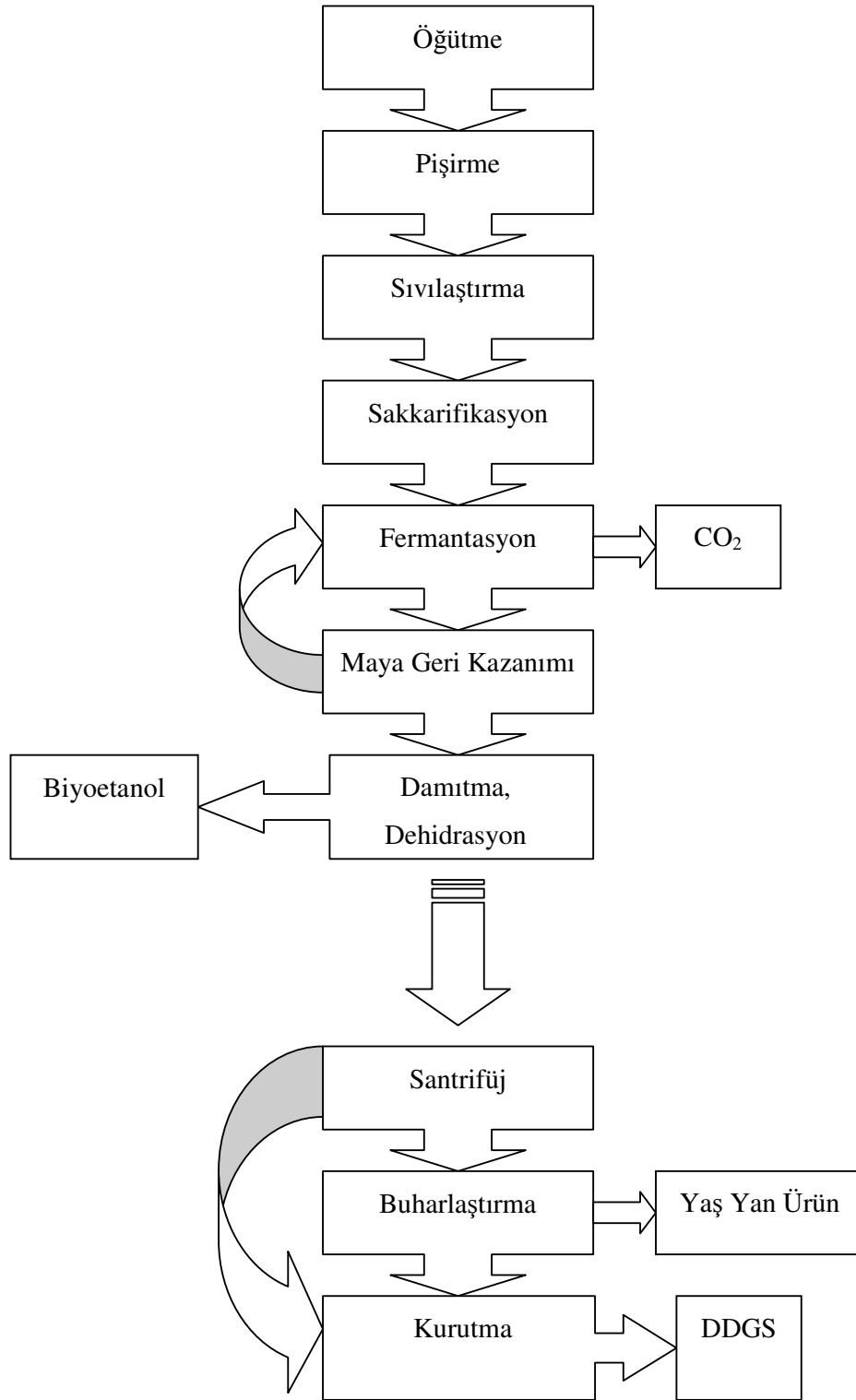
Kuru öğütme işlemi tahıllar için uygulanan yaygın bir yöntemdir. Tahılın içindeki maddelerin ayrılması için bir ön işlem yapılmaz. Tahıl ilk olarak öğütülerek toz haline getirilir. Daha sonra su eklenerek karışım pişiricilerde alfa-amilaz enzimi ile beraber sıvılaştırma işlemine girer. Nişastanın sıvılaştırılmasının gerçekleşmesi için karışım 120°C ila 150°C'ye kadar ısıtılır. Sakkarifikasyon aşamasında ise lapa halindeki karışım soğutularak gluko-amilaz enzimi katılır ve nişasta şekere dönüştürülür. Elde edilen şeker daha sonra biyoetanol üretmek için mayalar yardımı ile fermantasyona uğrattılır (Şekil 3.7). Fermantasyon sonrası lapanın hacimsel olarak %11 ila %15'i biyoetanoldür, geri kalan kısmı fermantasyona uğramayan tahıl artığı ve maya hücreleridir. Bu lapa, biyoetanolden suyun ve artıkların ayrılacağı damıtma sistemine pompalanır. Çok kolonlu bu sistemde biyoetanol son kolonu %96'lık bir saflıkta terk eder. Bu biyoetanol daha sonra dehidrasyon sistemine geçer ve içerisindeki kalan su ayrıştırılır. Geri kalan artıklar ise yaş halde veya buharlaştırıcı ve gaz ateşlemeli kurutucular ile kurutulularak DDGS denilen yan ürünler elde edilir ve hayvan yemi olarak elden çıkarılır (Meyers Norris Penny LLP, 2004).

3.5.1 Şeker Pancarı

Şeker pancarı günümüzde yaygın olarak insan beslenmesi, hayvan yemi ve endüstri alanlarında kullanılmaktadır. İnsanlar için iki temel sakkaroz (şeker) kaynağı şeker kamışı ve şeker pancarıdır. Dünyadaki şeker üretiminin yaklaşık %30'u şeker pancarından elde edilmektedir.



Şekil 3.6 Yaş öğütme iş akış diyagramı (Mısır)



Şekil 3.7 Kuru öğütme iş akış diyagramı

Şeker pancarı, Türkiye'nin en önemli endüstri bitkisidir. Sulu koşullarda ve üstün tarım teknikleri kullanılarak üretilen bitki, aynı zamanda Türkiye çiftçisinin en önemli gelir kaynaklarından birisidir. Şeker pancarı tarımı, kendisinden sonra aynı tarlaya ekilen ürünlerin verimlerini artırır. Çizelge 3.5'te de görüldüğü gibi yıllık 13 milyon tonun üzerinde üretimle taşımacılık sektörüne de iş sağlar. Türkiye'de şeker üretiminin hammaddesi şeker pancarıdır. Yurtiçi tüketimin %85'i şeker pancarından, %15'i ise şekere kısmen ikame olabilen ve ithal mısırdan üretilen nişasta bazlı şekerlerden karşılanmaktadır.

Çizelge 3.5 Türkiye'de şeker pancarı ekim alanları, üretim miktarları ve verimi

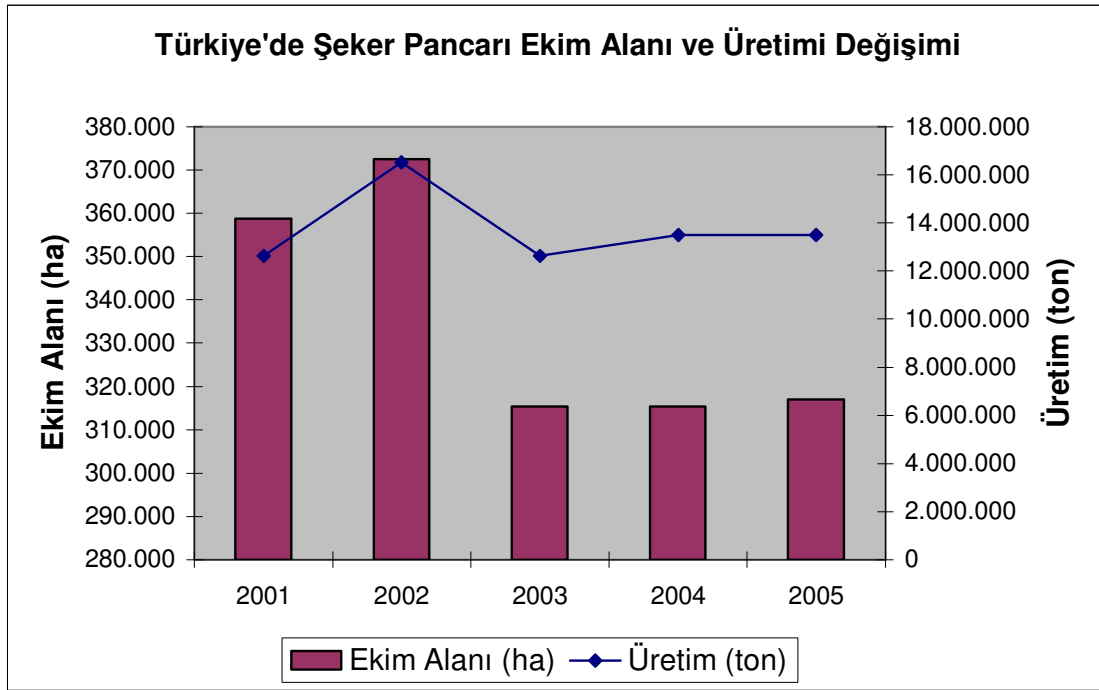
Yıl	Ekilen Alan (ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)
2001	358.763	12.632.520	35,2
2002	372.468	16.523.166	44,4
2003	315.303	12.622.900	40
2004	315.344	13.517.000	42,9
2005	317.000	13.500.000	42,6

Türkiye'de şeker üretiminin tek hammaddesi olan şeker pancarı; Ege, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu, Doğu ve Batı Karadeniz dışında tüm bölgelerde tarımı yapılabilen önemli bir sanayi bitkisidir (Çizelge 3.5). Türkiye'de şeker pancarı tarımı şeker sanayi ile birlikte gelişmiş, bu gelişmede kamu şeker fabrikalarının önemli payı olmuştur. Türkiye 2005 yılında Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre 13.500.000 ton şeker pancarı üretimi ile (Şekil 3.8) dünyada 6. büyük üreticidir.

Türkiye'nin yıllık şeker ihtiyacına bağlı olarak üretilecek şeker pancarı miktarı fabrikalar üzerinden belirlenir. Fabrika iş programına göre yıllık üretilecek şeker pancarı miktarını, bağlı bölgelerine dağılımını yapar. Üretilecek şeker pancarı miktarına o yılın kotası denir.

Şeker pancarı tarımı sözleşmeli olarak yürütülmektedir. Pancar yetiştirme sözleşmesi çiftçilerle her yıl ekim dönemi öncesi yapılmaktadır. Sözleşmelerde; kota miktarı, ürün teslim şartları, yeri ve zamanı, ödeme şartları, teknik ve hukuki şartlar bulunmaktadır. Çiftçilerle ilişki, köylerde pancar yetiştirme sözleşmesinin yapılması ile başlar, o yılın pancar teslimine kadar devam eder.

Şekil 3.8’de yıllar itibari ile Türkiye’nin şeker pancarı ekim alanı ve şeker pancarı üretim miktarı değişimleri görülmektedir.



Şekil 3.8 Yıllar itibari ile Türkiye’nin şeker pancarı ekim alanı ve üretim miktarı

Türkiye’de mevcut kamu, kooperatif ve özel şeker fabrikaları ekonomik olarak yılda 18.000.000 ton pancar işleyip, 7,4 kg pancar/1 kg şeker hesabıyla 2.500.000 ton şeker üretebilecek kapasitededir (Günel vd., 2005). Çizelge 3.6 Türkiye’nin yıllar itibari ile kullandığı şeker pancarı miktarını göstermektedir.

Şeker pancarı iki yıllık bir bitkidir. Pancar birinci yıl şeker endüstrisi için, ikinci yıl ise tohum elde etmek için üretilir. Mart sonundan mayısa kadar, sıra usulü ekilir. Seyreltme, çapalama, sulama ve yaprak alma gibi işlemleri gerektirir. Eylülünden itibaren ürün almaya başlanır. Şeker pancarı fazla ışık ve sıcaklık isteyen bir bitkidir. Pancar, ışık bakımından bir uzun gün bitkisidir. Pancar büyüme devresinde toplam 2500-2900°C sıcaklık istemektedir. Sulama yapılmadan tatminkar bir şeker pancarı tarımı için yıllık toplam yağış 600-700 mm olmalıdır.

Şeker pancarı biyoetanol üretimi için dikkate değer bir üründür. Şeker pancarının ortalama olarak %18,5’i şekerdir. 1 ton şeker pancarından elde edilecek biyoetanol miktarı çeşitli kaynaklarda farklı değerlerde olabilmektedir. Çizelge 3.7’de çeşitli kaynaklarda yer alan şeker pancarı için biyoetanol verim değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.6 Türkiye’de yaklaşık şeker pancarı kullanım miktarları

Yıl	Kullanım (ton)	Üretim (ton)
2001	12.632.520	12.632.520
2002	16.523.166	16.523.166
2003	12.622.900	12.622.900
2004	13.517.000	13.517.000
2005	13.500.000	13.500.000

Şeker pancarı doğrudan biyoetanol üretiminde kullanılamaz, ancak şeker pancarı içerisindeki şekerin çıkarılması ile elde edilen ham şerbet ve ham şerbetin arıtılması ile elde edilen sulu şerbet biyoetanol üretiminde hammadde olarak kullanılabilir. Ham şerbet ve sulu şerbet depolanamaz; bu nedenle şeker pancarından elde edilecek şurupların biyoetanol üretiminde hammadde olarak kullanımı pancar işleme kampanya dönemiyle sınırlıdır, kampanya süresi 120-140 gün arasında değişmektedir.

Şeker pancarından biyoetanol üretiminde sulu şerbetin koyulaştırılması ile elde edilen koyu şerbet ve koyu şerbetin kristalizasyonu ile elde edilen melas depolanabilir. Koyu şerbetin ve melasın depolanması ise ek olarak koyulaştırma, depolama ve koruma maliyetleri getirecektir. 1 ton şeker pancarından 40 kg ila 50 kg melas elde edilebilmektedir (ÇEDB, 2004). 100 kg melastan ortalama 40 litre biyoetanol üretilebilir (Günel vd., 2005).

Şeker pancarından şeker üretiminde, pancar kıyımlarının difüzörlerde ters akım prensibine göre sıcak su ile çıkarılarak elde edilmesi suretiyle şeker şerbete geçirilir. Elde edilen şeker daha sonra biyoetanol üretmek için mayalar yardımı ile fermantasyona uğratılır. Daha sonra ise fermantasyon çözültisi biyoetanol istenilen konsantrasyona gelinceye kadar damıtılır. Son olarak ise susuz biyoetanol elde etmek için genellikle dehidrasyon işlemi yapılır.

Türkiye’de Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. içinde yer alan dört alkol üretim tesisinin (Eskişehir, Turhal, Malatya, Erzurum) susuzlaştırılmış biyoetanol üretimi için ilave yatırımlar gerekmektedir.

Biyoetanol üretiminde üretim maliyetlerini etkileyen en büyük etkenlerden birisi tesisin enerji tüketim maliyetleridir. Enerji tüketim maliyetleri bir biyoetanol tesisinin üretim maliyetlerinin

%15 ila %18'ini oluşturur (Meyers Norris Penny LLP, 2004). İngiltere’de ortaya konulan bir çalışma sonucu genel olarak şeker pancarından biyoetanol üreten bir fabrikanın, şeker pancarının teslim alınışından biyoetanol üretimini gerçekleştirme aşamasını kapsayan bir süreçte yükleme ve hazırlama, depolama, pancar kesme, difüzyon ve damıtma işlemlerinde, üretilen her litre biyoetanol için yaklaşık olarak 0,355 kWh/lt elektrik enerjisi tükettiği belirlenmiştir. Difüzyon, pastörize etme, fermantasyon ve damıtma işlemleri göz önüne alınarak belirlenen doğal gaz enerjisi tüketimi 11,9 MJ/lt’dir (Çizelge 3.8) (Mortimer vd., 2004). Doğal gaz yerine akaryakıt veya kömür kullanan tesisler de mevcuttur.

Çizelge 3.7 Çeşitli kaynaklarda yer alan şeker pancarı için biyoetanol verimleri

Kaynak	Biyoetanol Verimi (litre biyoetanol/ton şeker pancarı)
(Rice, 1999)	101
(Mornier ve Lanneree, 2000)	100
(ESRU, 2003)	108
(Mortimer vd., 2004)	98
Levy, 1993 (IEA, 2004)	101
Öko-institut, 2004 (IFEU, 2004)	98

İngiltere’de ortaya konulan bir başka çalışma ise genel olarak şeker pancarı yetiştirilmesi için gerekli yıllık girdi enerji miktarını ortaya koymaktadır. Bu enerji miktarı hesaplamasında yakıt, makine-malzeme ekipmanları, gübreleme, bitki ve böcek ilaçları, işgücü ve tarladaki taşımalar göz önüne alınmıştır ve tüm bu girdiler enerji olarak ifade edilmiştir. Çalışmada ortaya konulan şeker pancarı yetiştirilmesi için harcanan yıllık girdi enerji miktarı 23,88 GJ/ha/yıl’dır (Çizelge 3.8) (Salter, 2006).

Bir biyoetanol tesisinde üretim sonrası elde edilecek gelirin %70 ila %80’ini biyoetanol satışları oluşturmaktadır. Biyoetanol satışından sonra en büyük gelir kaynağı yan ürünlerdir, bu yüzden yan ürün değerleri biyoetanol üretim sürecinde değerlendirilmesi gereken önemli bir faktördür. Yan ürünlerin gelirler içindeki oranı, yan ürün miktarına ve besin değerine göre

%20 ila %30 arasında değişmektedir (Meyers Norris Penny LLP, 2004). Şeker pancarının yan ürünü olan pancar küspesi, pancar baş ve yaprağı ve melasın hayvansal besin değeri yüksektir. Yaklaşık olarak her ton pancardan pancar küspesi yoluyla 300 kilogram yaş küspe elde edilmektedir. Yaş küspe kurutma fırınlarında 600-700°C’de kurutularak içerisindeki su oranı % 12-14 gibi düşük seviyelere indirilerek kuru küspeye dönüştürülür. Böylece uzun süre dayanması sağlanarak nakliye ve depolanması kolaylaştırılmış olur. Hayvan yemi olarak kullanılacak yan ürünler için protein değeri önemlidir, kurutulmuş pancar küspesinin kuru ağırlık olarak yaklaşık olarak %9,7’si ham proteindir. 1 ton şeker pancarının işlenmesi ile yaklaşık olarak 94 kg kuru küspe elde edilebilmektedir (Çizelge 3.8) (Sgaramella, 2003). Melastan biyoetanol elde edildikten sonra geriye kalan çözeltiye şlempe denilmektedir. Şlempe alkol fabrikalarının bir yan ürünüdür, hayvan beslemede doğrudan veya kurutularak kullanılabildiği gibi, melasa ve küspeye ilave edilerek de kullanılabilmektedir.

İrlanda’da yapılan bir çalışmada tarladan 30 km uzaklıktaki tesis göz önüne alınmış ve üretilen her litre biyoetanolle karşılık taşınacak şeker pancarı maliyetinin yaklaşık olarak 0,04 £/lt olacağı tahmin edilmiştir (Rice, 1999).

Çizelge 3.8 Şeker pancarı hammaddesi için bazı değerlerin özeti

Elektrik Tüketimi	Doğal Gaz Tüketimi	Girdi Enerji Miktarı	Yan Ürün Oranı	Taşıma Maliyeti
0,355 kWh/lt	11,9 MJ/lt	23,88 GJ/ha/yıl	%9,4	0,04 £/lt

Fermantasyon neticesinde elde edilen her 1 kilogram biyoetanolün yanı sıra yaklaşık olarak 0,957 kilogram karbondioksit elde edilir. Bu karbondioksit sanayide veya sera üretimde değerlendirilebilmektedir.

Biyoetanol üretimindeki maliyet kalemlerinin en büyüğünü oluşturan hammadde fiyatları çok önemlidir. Biyoetanol üretim tesislerinde üretim maliyetlerinin %65 ila %75’ini hammadde maliyeti oluşturmaktadır (Meyers Norris Penny LLP, 2004). Diğer maliyetleri ise enerji, atıkların elden çıkarılması, enzimler, mayalar, kimyasallar, işgücü, yönetim ve diğer giderler oluşturmaktadır. Çizelge 3.9’da Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre yıllar itibari ile Türkiye’deki şeker pancarı alım fiyatları ve artış oranları görülmektedir.

Çizelge 3.9 Yıllar itibari ile Türkiye’deki şeker pancarı alım fiyatları

Yıllar	Şeker Pancar Alım Fiyatı (TL/kg)	Artış (%)	ÜFE Artış (%)
1998	16.500	50	54,3
1999	27.000	64	62,9
2000	33.750	25	32,7
2001	50.000	48	88,6
2002	74.000	48	30,8
2003	88.000	19	13,9
2004	98.909	12	13,8
2005	100.000	1	7,7

Şekil 3.9’da Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre yıllar itibari ile Türkiye’deki şeker pancarı fiyat artışı ve ÜFE artış oranları görülmektedir.

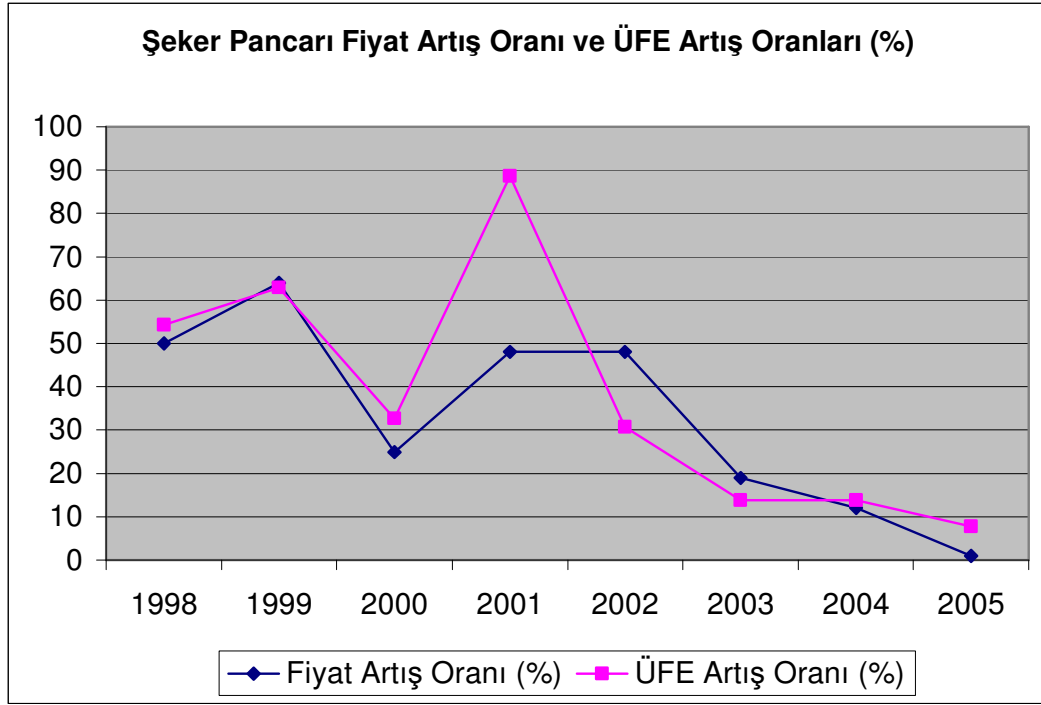
Şeker pancarının çeşitli açılardan olumlu özellikleri şöyledir:

- Yüksek fotosentez verimi
- Yüksek bölgesel üretim ve yüksek verim garantisi
- Biyoetanol üretiminde tecrübe ve işleme özellikleri
- Tarımsal ürünlerde maliyeti düşürme potansiyeli
- Münavebe sırasında pozitif etki

Olumsuz özellikleri ise şöyledir:

- Ekimde bölgesel sınırlama
- Pancar olarak depolanma süresinin kısa oluşu, ancak koyu şerbet olarak depolanabilme
- Yüksek nakliye ve lojistik maliyeti

- Atık ve atık su arıtım maliyeti yüksek



Şekil 3.9 Yıllar itibari ile Türkiye’de şeker pancarı fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları

Şeker pancarından biyoetanol üretiminde Fransa dünyada ilk sırada yer almaktadır. Fransa aynı zamanda Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre dünyanın en büyük şeker pancarı yetiştiricisidir.

3.5.2 Buğday

Türkiye’de hububat ekim alanı içerisinde yaklaşık %67’lik pay ile ilk sırada buğday yer almaktadır. Buğday ürününden elde edilen un, bulgur, makarna, nişasta insan beslenmesinde; buğday bitkisinin sapları ise kağıt-karton sanayinde ve hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır (T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, 2004).

Buğdayın Türkiye için hem ekonomik ve hem de sosyal açıdan taşıdığı önem büyüktür. Doğu Karadeniz Bölgesi’ndeki küçük bir şerit dışında hemen hemen tüm bölge ve illerde yetiştirilmektedir. Bu bölgeler arasında Orta Anadolu Bölgesi Türkiye toplam tahıl ekiliş ve üretiminin %50’den fazla bir kısmını sağlamaktadır. Türkiye’nin buğday üretimi yıllara göre değişmekle birlikte 2003 yılında 19.008.200 ton, 2004 yılı ise iki milyon tonluk bir artma ile 21.000.000 ton ve 2005 yılında yine 21.000.000 ton olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3.10 ve Şekil 3.10). Türkiye 2005 yılında Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre

21.000.000 ton buğday üretimi ile dünyada 10. büyük üreticidir.

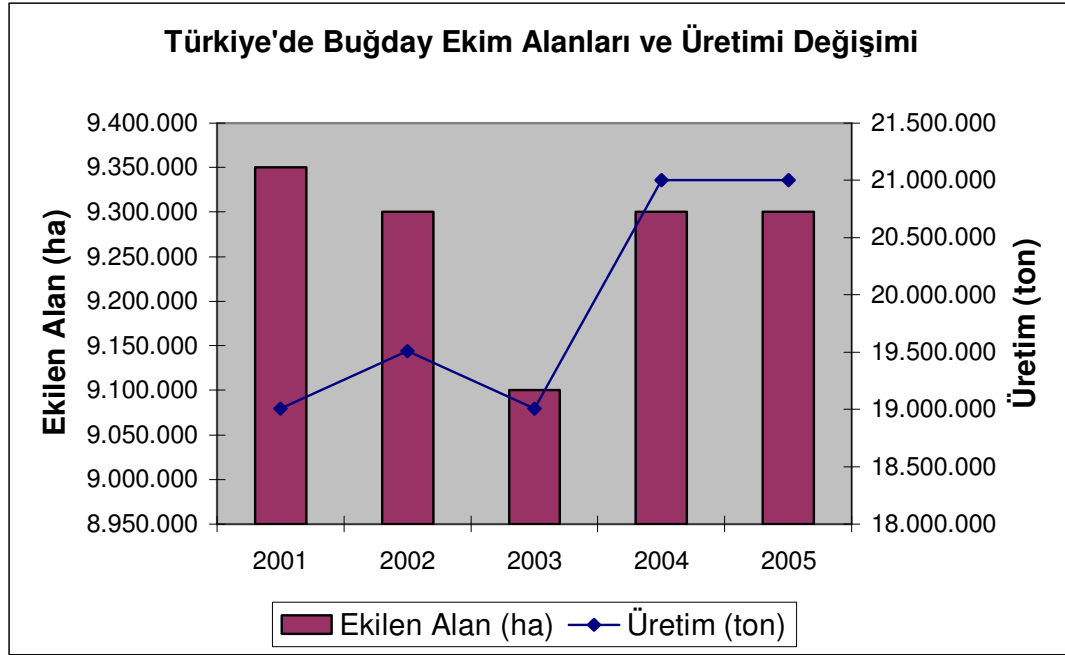
Çizelge 3.10 Türkiye’de buğday ekim alanları, üretim miktarları ve verimi

Yıl	Ekilen Alan (ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)
2001	9.350.000	19.007.000	2
2002	9.300.000	19.508.000	2,1
2003	9.100.000	19.008.200	2,1
2004	9.300.000	21.000.000	2,3
2005	9.300.000	21.000.000	2,3

Şekil 3.10’da yıllar itibari ile Türkiye’nin buğday ekim alanı ve buğday üretim miktarı değişimleri görülmektedir.

Türkiye’nin buğday üretimi yıllara göre değişmekle birlikte yaklaşık 20.000.000 ton civarlarındadır. Yurtiçi buğday üretimi tüketimi karşılamakla birlikte, bazı yıllar kalite sorunu nedeniyle ithalat yapılmaktadır. Türkiye’de artan nüfusa paralel olarak buğday tüketimi de artmaktadır. Ekmek, bulgur, makarna, irmik, bisküvi, nişasta ve diğer buğdaya dayalı unlu mamuller tüketimi dikkate alındığında Türkiye’nin 2005 yılı için gıda olarak buğday tüketiminin yaklaşık olarak 12 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Buğday, gıda tüketiminin dışında yaklaşık 2 milyon ton tohumluk ve 2 milyon ton da yemlik olarak tüketilmektedir (TMO, 2005). Çizelge 3.11’de Türkiye’nin yıllar itibari ile buğday talebi görülmektedir.

Buğdayın her çeşit toprakta yetişebilen çeşitleri vardır. Ticari anlamda buğdaylar makarnalık, ekmeklik ve topbaş buğdaylar olmak üzere üç grupta toplanırlar. En fakir toprak şartlarında topbaş ekmeklik buğday çeşitleri, en iyi şartlarda makarnalık buğday çeşitleri, orta toprak şartlarında ise aestivum grubu ekmeklik buğday çeşitleri yetiştirilmelidir (T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, 2004). Bir yıllık veya çok yıllık olabilirler, ılıman iklimi severler. Ekimde, o bölgenin iklimine ve toprağına uygun sağlam veya ilaçlanmış tohum kullanılmalıdır; kış buğdayını 15 Ekim-15 Kasım arasında, kış-yaz buğdaylarını ocak sonundan 10 Marta kadar, yaz buğdaylarını mart sonundan nisan başına kadar ekmek gerekir.



Şekil 3.10 Yıllar itibari ile Türkiye'nin buğday ekim alanı ve üretim miktarı

Buğday hasadı Türkiye'de haziran, temmuz ve ağustos aylarında yapılmaktadır. Buğday toprağı oldukça yormaktadır ve üç sene üst üste aynı yere ekilmemesi gerekmektedir. Türkiye'deki buğday ekim alanlarının %50'sinde kışlık ekmek buğdayı, %19'unda yazlık ekmek buğdayı, %18'inde yazlık dürüm buğdayı ve %13'ünde kışlık dürüm buğdayı yetiştirilmektedir. Buğday, dünyada ve Türkiye'de kuru tarım alanlarında yetiştirilmektedir. Ancak fazla su isteyen çeşitlerin ekilmesi ve münavebe vb. gibi nedenlerden dolayı, sulanan arazilerde de buğday yetiştiriciliğı oldukça yaygındır.

Çizelge 3.11 Türkiye'de buğday talebi ve üretim miktarları

Yıl	Buğday Talebi (ton)	Üretim (ton)
2001	17.946.000	19.007.000
2002	17.572.000	19.508.000
2003	18.318.000	19.008.200
2004	18.847.000	21.000.000
2005	18.950.000	21.000.000

Buğday dünyada biyoetanol üretiminde mısırdan ve şeker kamışından sonra en çok kullanılan üründür. Biyoetanol üretimi için buğdayın içerisindeki nişasta değeri önemlidir, buğday çeşitleri içerisinde protein oranı düşük olan ve dolayısı ile daha yüksek nişasta değerine sahip olan türler biyoetanol üretimi için önem arz eder. Buğdaylarda protein miktarı tür, çeşit, çevre koşulları (iklim, toprak, hastalık ve zararlılar) ve üretim koşullarına (gübreleme, sulama, makineli tarım) bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak sert buğdaylarda, azotu bol topraklarda yetişenlerde protein miktarı fazladır. Yumuşak buğdaylarda sert buğdaylara göre daha fazla nişasta bulunur. Türkiye’de Orta Anadolu ve bazı diğer bölgelerinde ekilen topbaş buğday, diğer çeşitlere göre biyoetanol üretimi için bu açıdan daha elverişlidir. Kuraklığa dayanıklıdır, taneleri beyaz, yapısı yumuşak ve protein miktarı düşüktür.

Buğdayın içerisindeki nişasta bir dönüşüm basamağından sonra glikoza dönüştürülerek fermantasyona tabi tutulur. Bu dönüştürme faaliyeti ek bir maliyet oluşturur ancak tüm üretim sürecindeki maliyetlere bakıldığında önemli bir orana sahip değildir. Biyoetanol üretimi sürecinde buğday öncelikle öğütülür. Kontrol edilen sıcaklık ve nem değerlerinde malt haline getirilir ve enzimler yardımı ile nişasta glikoza dönüştürülür. Glikoz daha sonra biyoetanol üretmek için mayalar yardımı ile fermantasyona uğratılır. Fermantasyon sonrası lapa biyoetanol, fermantasyona uğramayan buğday artığı ve maya hücrelerinden oluşur. Bu lapa, biyoetanolden suyun ve artıkların ayrılacağı damıtma sistemine pompalanır. Burada %96 saflıkta biyoetanol elde edilir. Bu biyoetanol daha sonra dehidrasyon sistemine geçer ve içerisindeki kalan su ayrıştırılır. Geri kalan artıklar ise yaş halde veya buharlaştırıcı ve gaz ateşlemeli kurutucular ile kurutularak DDGS denilen yan ürünler elde edilir ve hayvan yemi olarak elden çıkarılır. Kuru ağırlık olarak bakıldığında buğdayın içerisinde ortalama olarak %65 oranında nişasta vardır ve biyoetanol üretimi için iyi bir hammadde seçeneğidir (Easson vd., 2004). Çizelge 3.12’de çeşitli kaynaklardaki buğdayın biyoetanol verimi görülmektedir.

Buğday, nem oranı %13’ün altında tutularak bir sonraki hasat sezonuna kadar tahıl ambarında depolanabilmektedir.

Biyoetanol üretimi sürecinde hammaddenin sadece nişasta kısmı işleme dahil olduğu için hammaddenin geri kalan lapa kısmı hayvan yemi olarak kullanılması yönünde değerlendirilebilmektedir. Biyoetanol üretiminde tahılların kullanılması ile DDGS denilen ve damıtma işlemi sonucunda elde edilen protein bakımından zengin yan ürünler hayvan yemi olarak kullanılabilirler. Biyoetanol üretimi için kullanılan 1 ton buğdaydan yaklaşık olarak 350 kg hayvan yemi elde edilebilmektedir ve bu yan ürünün yaklaşık olarak %38’i ham proteindir (Çizelge 3.13) ((S&T)² Consultants Inc., 2003).

Çizelge 3.12 Çeşitli kaynaklarda yer alan buğday için biyoetanol verimleri

Kaynak	Biyoetanol Verimi (litre biyoetanol/ton buğday)
(Rice, 1999)	369
(BBI International, 2002)	355-372
(O'Connor, 2003)	370
Levy, 1993 (IEA, 2004)	349
European Commission, 1994 (IEA, 2004)	385
ETSU, 1996 (IEA, 2004)	347
Levington, 2000 (IEA, 2004)	349
Öko-institut, 2004 (IFEU, 2004)	370

Damıtma işlemi sonucu elde edilen yan ürünler genellikle kurutularak elden çıkarılır fakat kurutulmadan da elden çıkarılması mümkündür. Damıtma işlemi sonucu elde edilen yaş yan ürünlerin yaklaşık olarak %35'i katı muhteviyattan oluşmaktadır. Yaş olarak tutulan bu yan ürünler uzun süre depolanamaz, sıcaklığa bağlı olarak 3 ila 10 gün içinde elden çıkarılması gerekmektedir ve yaş olması bakımından uzak mesafelere taşınamazlar. Besleyici özellikleri ise kurutma işlemi sonucu elde edilen yan ürünlerin besleyici özelliği ile aynıdır, ayrıca kurutma işlemi için harcanacak enerji yaş yan üründe harcanmamaktadır. Eğer yan ürünlerin kurutulması işlemi yapılmaz ise enerji tüketim değerlerinde tasarruf sağlanabilmektedir. ABD'de birçok fabrika hem yaş yan ürün hem de kuru yan ürün üretebilme kabiliyetine sahiptir, böylelikle üretim maliyetlerini optimize etme şanslarına sahip olabilmektedirler.

Kanada'da yapılan bir çalışma çeşitli hammadde türlerinden elde edilen yan ürünlerin birbirlerine göre değerlerini ortaya koymuştur, bu değerler yan ürün içerisindeki protein ve enerji miktarına göre belirlenmiştir. Buna göre mısırdan elde edilen yan ürünün değeri 1 birim olarak alınmış ve buğdaydan elde edilen yan ürünün değerinin 1,4 birim olacağı hesaplanmıştır (Meyers Norris Penny LLP, 2004).

Çizelge 3.13 Buğday hammaddesi için bazı değerlerin özeti

Elektrik Tüketimi	Doğal Gaz Tüketimi	Girdi Enerji Miktarı	Yan Ürün Oranı	Taşıma Maliyeti
0,270 kWh/lt	11 MJ/lt	19,12 GJ/ha/yıl	%35	0,01 £/lt

Kanada’da yapılan bir çalışma, genel olarak buğdaydan biyoetanol üreten bir fabrikanın, buğdayın teslim alınışından biyoetanol üretimini gerçekleştirme aşamasını kapsayan bir süreçte üretilen her litre biyoetanol için yaklaşık 0,270 kWh/lt elektrik enerjisi tükettiğini ortaya koymuştur. Çalışmada ortaya konulan buğdaydan biyoetanol üretimi yapan bir tesisin doğal gaz enerjisi tüketim değeri ise üretilen her litre biyoetanol için 11 MJ/lt’dir (Çizelge 3.13) (Meyers Norris Penny LLP, 2004).

Çizelge 3.14 Yıllar itibari ile Türkiye’deki yemlik buğday fiyatları

Yıllar	Yemlik Buğday Fiyatı (TL/kg)	Artış (%)	ÜFE Artış (%)
1998	40.096	60,6	54,3
1999	60.522	50,9	62,9
2000	77.165	27,5	32,7
2001	124.070	60,8	88,6
2002	174.800	40,9	30,8
2003	250.000	43,0	13,9
2004	273.000	9,2	13,8
2005	290.000	6,2	7,7

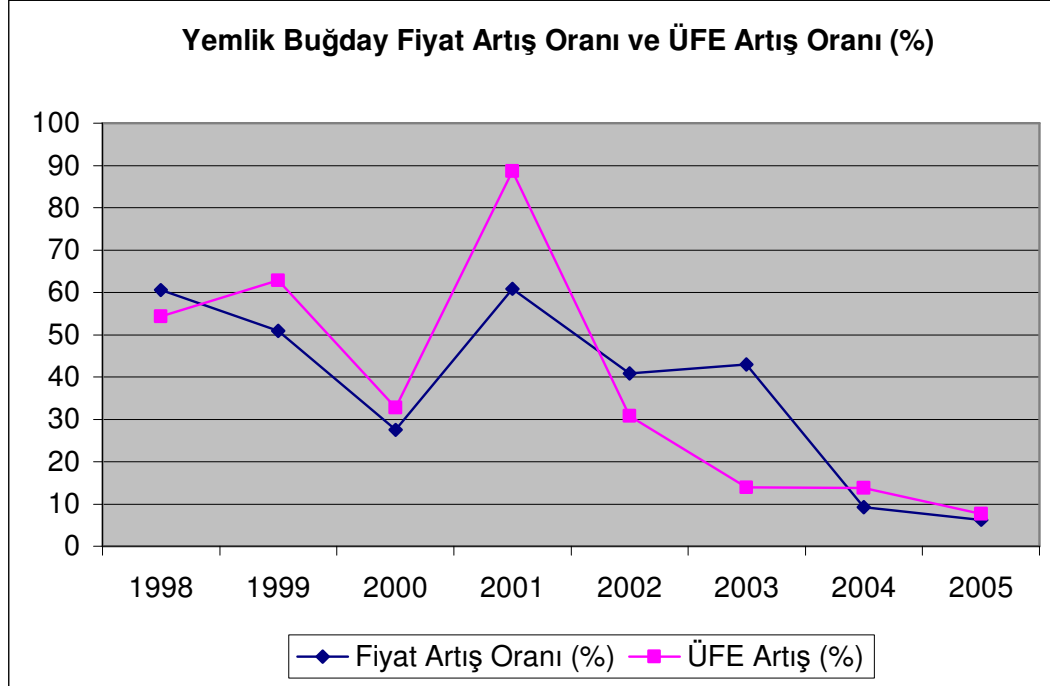
Not: 1998’den 2001’e kadar olan fiyatlar TMO (Toprak Mahsulleri Ofisi) ekmeklik buğday fiyat artışı değerlerine göre belirlenmiştir.

Southampton Üniversitesi kaynaklı bir çalışma ise genel olarak buğday yetiştirilmesi için gerekli yıllık girdi enerji miktarını ortaya koymaktadır. Bu enerji miktarı hesaplamasında yakıt, makine-malzeme ekipmanları, gübreleme, bitki ve böcek ilaçları, işgücü ve tarladaki taşımalar göz önüne alınmıştır. Çalışmada ortaya konulan buğday yetiştirilmesi için gereken yıllık girdi enerji miktarı 19,12 GJ/ha/yıl'dır (Çizelge 3.13) (Salter, 2006).

İrlanda'da yapılan bir çalışmada tarladan 30 km uzaklıktaki tesis göz önüne alınmış ve üretilen her bir litre biyoetanole karşılık taşınacak buğday maliyetinin yaklaşık olarak 0,01 £/lt olacağı tahmin edilmiştir (Rice, 1999).

Buğdayın alım fiyatı 1938 yılından beri Bakanlar Kurulu'nca belirlenerek Resmi Gazete'de ilan edilmektedir. Ancak, 2002 yılından itibaren TMO kendi alım fiyatlarını ilan ederek alım yapmıştır. Biyoetanol üretiminde buğdayın orta ve alt sınıfları tercih edildiği için hammadde fiyatı olarak yemlik buğdayın değerleri alınmıştır. Yıllar itibari ile Türkiye'deki yemlik buğday fiyatları ve artış oranları ise Çizelge 3.14'te görülmektedir.

Şekil 3.11'de yıllar itibari ile Türkiye'deki yemlik buğday fiyat artış oranları ile ÜFE artış oranları görülmektedir.



Şekil 3.11 Yıllar itibari ile Türkiye'de yemlik buğday fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları

Buğdayın çeşitli açılardan olumlu özellikleri şöyledir:

- Yüksek nişasta miktarı, iyi tane oluşumu
- İyi depolama imkanı
- Likidite özelliği, dünya çapında piyasada pazarlanma kolaylığı
- Bölgesel üretimi diğer hububat çeşitlerine göre daha yüksek
- Biyoetanol üretiminde tecrübe varlığı
- Biyoetanol üretiminde ve yüksek vasıflı yan ürünlerde iyi imalat özellikleri
- Atık su miktarı oldukça az

Olumsuz özellikleri ise şöyledir:

- Toprağı oldukça zorlaması
- Nispeten pahalı hammadde
- Birim alandan üretim miktarı düşük

Biyoetanol üretiminde buğdayı kullanan başlıca ülkeler Kanada, İspanya, Fransa, İsveç ve Avustralya'dır.

3.5.3 Patates

Patates kökeni Türkiye olmayan bitkilerden biridir. Patates, Avrupa'ya ilk defa süs bitkisi olarak Güney Amerika'nın And Dağlarından gelmiştir. Türkiye'ye ise 150 yıl kadar önce Rusya ve Kafkaslar üzerinden doğu bölgelerine, yüzyıl kadar önce de Avrupa üzerinden batı yörelerine girmiştir. Türkiye'de hemen hemen her yerde yetiştirilebilmekle beraber özellikle Orta ve Doğu Anadolu'da yetiştirilmektedir.

Patates, tahıllardan sonra insan beslenmesinde önemli bir paya sahiptir. Ucuzluğu, birim alandan fazla verim sağlanması, besin değerinin yüksek oluşu, sindirim kolaylığı, çeşitli şekillerde kullanılması ve her çeşit iklimde yetiştiği için bugün hemen hemen bütün dünya milletleri tarafından da yetiştirilmekte ve tüketilmektedir.

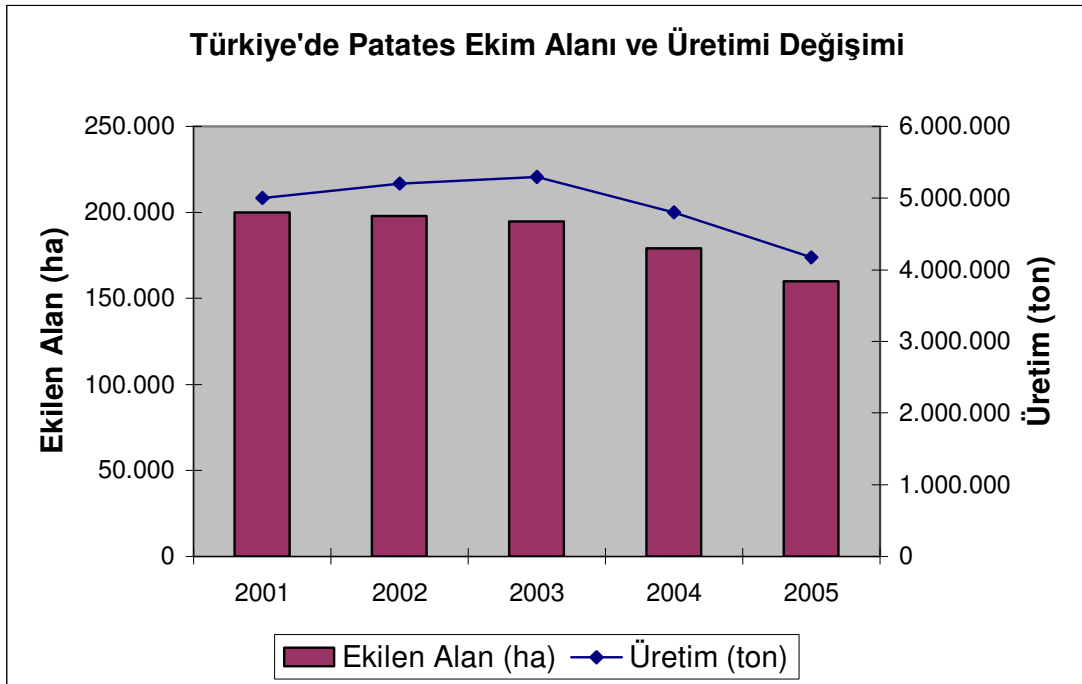
Türkiye'de patates üretimine bakıldığında, hemen hemen her ilde patates üretimi yapılmaktadır. 2005 yılı Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre Türkiye'nin patates ekim alanı 160.000 hektar olup, üretimi ise 4.170.000 ton olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 3.15 ve Şekil 3.12). Türkiye'de üretimin yoğun olarak yapıldığı iller sırasıyla Niğde, Nevşehir, İzmir, Bolu ve Afyonkarahisar'dır. Türkiye üretiminin %57,9'u bu illerimiz tarafından yapılmaktadır. Türkiye'de patates işletmeleri daha çok küçük işletmeler niteliğindedir. Türkiye'de patates üretiminin %13'ü tohumluk olarak ayrılmakta, %16'sı patates üreten işletmelerde aile içi tüketime tahsis edilmekte, %3'ü hayvan beslenmesinde

kullanılmakta, kalan %68'i ise pazara arz edilmektedir (TZOB, 2004).

Çizelge 3.15 Türkiye’de patates ekim alanları, üretim miktarları ve verimi

Yıl	Ekilen Alan (ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)
2001	200.000	5.000.000	25,0
2002	198.000	5.200.000	26,3
2003	195.000	5.300.000	27,2
2004	179.000	4.800.000	26,9
2005	160.000	4.170.000	26,1

Şekil 3.12’de yıllar itibari ile Türkiye’nin patates ekim alanı ve üretim miktarı değişimleri görülmektedir.



Şekil 3.12 Yıllar itibari ile Türkiye’nin patates ekim alanı ve üretim miktarı

Türkiye patates üretiminde kendi kendine yetebilen bir ülkedir. Türkiye patates ihracatına bakıldığında yıllar itibari ile iniş ve çıkışlar yaşanmasına rağmen, Türkiye’nin önemli ihraç

ürünleri arasında patatesin olduğu görülür. Çizelge 3.16'da Türkiye'nin patates tüketimi değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.16 Türkiye'de patates tüketimi ve üretim miktarları

Yıl	Patates Tüketimi (ton)	Üretim (ton)
2001	4.513.000	5.000.000
2002	4.805.000	5.200.000
2003	4.751.000	5.300.000
2004	4.315.000	4.800.000
2005	3.765.000	4.170.000

Patates tohumla ve yumru ile üretilebilir; yumrular derin işlenmiş toprağa ekilir; ekim zamanı şubattan mayısa kadardır. Türkiye sahip olduğu coğrafi zenginlik sayesinde patates üretimi açısından oldukça ayrıcalıklı bir konumdadır. Bu nedenle Türkiye'nin hemen her yöresinde yılın belirli dönemlerinde patates üretimi mümkün olmakta; nisan ayından başlayarak aralık ayı sonuna kadar patates hasadı devam etmektedir. Türkiye'de eylül-ekim aylarında ürün miktarı zirveye ulaşmaktadır. Patates bünyesine %70-80 oranında su ihtiva etmesi nedeniyle özel koşullarda depolanması gerekmektedir. Ancak Türkiye'de depolama yetersiz ve ilkel şartlarda yapılmaktadır. Depo yetersizliği nedeniyle patatesten stoklama söz konusu olmamakta, ürün bir an önce elden çıkarılması zorunlu hale gelmekte ve %20'ye yaklaşan oranlarda kayıplar olmaktadır. Ayrıca, yetersiz depolama kapasitesi de pazarlama periyodunu kısaltarak ürün fiyatlarında üretici aleyhine sonuçlar doğurmaktadır. Patates, kuraklığa dayanabilen bir bitki değildir. Yetiştirme mevsiminde aylara düzenli olarak dağılan 300-450 mm'lik yağış ya da buna eşdeğerde sulama ister. Hava neminin %70 olduğu bölgelerde çok iyi gelişir. Patates bitkisi hafif topraklarda yetiştiriliyorsa 8-12 günde bir, ağır topraklarda yetiştiriliyorsa 15-20 günde bir sulanır.

Dünya üzerinde patatesten biyoetanol üretimi düşük seviyelerdedir. Biyoetanol üretimini kısmen patatesten yapan ülke olarak Polonya sayılabilir, Finlandiya ve ABD'de de birkaç tesiste patatesten biyoetanol üretildiği bilinmektedir. Patatesin ortalama olarak %18'i fermantasyonda kullanılabilecek nişastayı içermektedir. Patates özel koşullarda yaklaşık

olarak 5 ay boyunca depolandığında bu nişasta değerini koruyabilmektedir, 5 aydan daha uzun sürelerde nişasta oranında düşüşler görülmektedir.

Çizelge 3.17 Çeşitli kaynaklarda yer alan patates için biyoetanol verimleri

Kaynak	Biyoetanol Verimi (litre biyoetanol/ton patates)
(Rice, 1999)	91
(BBI International, 2002)	100
(Liimatainen, 2004)	87-104
(Meyers Norris Penny LLP, 2004)	~105
(OECD, 2005)	151

Çizelge 3.17’de çeşitli kaynaklarda yer alan patates için biyoetanol verimleri görülmektedir. Patates düşük depolanabilme süresine sahip olduğundan biyoetanol üreten bir tesisin yılın bir bölümünde boş kalması kaçınılmazdır, tesisin bir başka ürün ile çalışabilme kabiliyeti bu probleme çözüm olabilmektedir. Ticari olarak patatesler buhar kazanlarında basınç altında pişirilirlir. Burada izlenen genel süreç şu şekildedir: Patatesler kesilerek, belli bir miktarda su ile kazanlarda yumuşayınca kadar yaklaşık bir saat pişirilirlir. Burada yapışkanlığın düşürülmesi için ön malt haline getirilmesi olumlu sonuç vermektedir. Pişirme aşamasından önce bir miktar alfa-amilaz enzimi karışıma katılır. Pişirmeden sonra lapa 80-90°C’ye kadar soğutulur ve geri kalan alfa-amilaz enzimi eklenir. Yaklaşık bir saatlik sıvılaştırma sürecinden sonra karışım 60°C’ye soğutulur. Sakkarifikasyon aşamasında önce karışımın pH değeri kontrol edilir ve gluko-amilaz enzimi eklenir. 90 dakikalık sakkarifikasyon sürecinden sonra karışım 30°C’ye soğutulur ve maya eklenir, geri kalan süreç bilinen fermantasyon sürecidir (Liimatainen, vd., 2004). Biyoetanol üretiminde hammadde olarak patatesin kullanılması durumunda da hayvan yemi olarak kullanılabilecek yan ürün elde edilebilmektedir. Biyoetanol üretiminde patates kullanılması durumunda elde edilebilecek yan ürün miktarı kuru patates ağırlığının %28’i kadardır (Çizelge 3.18), patates yan ürünü içerisindeki ham protein miktarı yan ürünün yaklaşık olarak %55’idir (Meyers Norris Penny LLP, 2004). Kanada’da yapılan bir çalışma çeşitli hammadde türlerinden elde edilen yan ürünlerin

birbirlerine göre değerlerini ortaya koymuştur, bu değerler yan ürün içerisindeki protein ve enerji miktarına göre belirlenmiştir. Buna göre mısırdan elde edilen yan ürünün değeri 1 birim olarak alınmış ve patatesten elde edilen yan ürünün değerinin 1,3 birim olacağı hesaplanmıştır (Meyers Norris Penny LLP).

Kanada’da yapılan bir çalışma, genel olarak patatesten biyoetanol üreten bir fabrikanın üretilen her litre biyoetanol için yaklaşık 0,240 kWh/lt elektrik enerjisi tüketeceğini ortaya koymuştur. Üretilecek her litre biyoetanol için doğal gaz enerjisi tüketimi değerinin ise 9,8 MJ/lt olacağı belirtilmiştir (izelge 3.18) (Meyers Norris Penny LLP).

İngiltere’de ortaya konulan bir çalışma genel olarak patates yetiştirilmesi için gerekli yıllık girdi enerji miktarını ortaya koymaktadır. Bu enerji miktarı hesaplamasında yakıt, makine-malzeme ekipmanları, gübreleme, bitki ve böcek ilaçları, işgücü ve tarladaki taşımalar göz önüne alınmıştır. Çalışmada ortaya konulan patates yetiştirilmesi için gereken yıllık enerji miktarı 24,22 GJ/ha/yıl’dır (izelge 3.18) (Salter, 2006).

İrlanda’da yapılan bir çalışmada tarladan 30 km uzaklıktaki tesis göz önüne alınmış ve üretilen her litre biyoetanole karşılık taşınacak patates maliyetinin yaklaşık olarak 0,04 £/lt olacağı tahmin edilmiştir (Rice, 1999).

Çizelge 3.18 Patates hammaddesi için bazı değerlerin özeti

Elektrik Tüketimi	Doğal Gaz Tüketimi	Girdi Enerji Miktarı	Yan Ürün Oranı	Taşıma Maliyeti
0,240 kWh/lt	9,8 MJ/lt	24,22 GJ/ha/yıl	%28	0,04 £/lt

Genel olarak Türkiye’de patates talebi arza göre yıl içerisinde durağandır. Belirli dönemlerde pazara arz edilen ürün, fiyatlarda o dönem için düşüşlere yol açmakta; üretimin pazara arz edilmediği dönemlerde de var olan talebi karşılamayan arz sonucunda da fiyatlar yükselmektedir. Bu duruma bağlı olarak da patates üretiminde dalgalanmalar meydana gelmektedir.

Patatesin de içinde bulunduğu bazı ürünlerde, üretici kararını diğer faktörler yanında en çok bir önceki dönem elde edilen hasılat etkilemektedir. Yani patatesteki üretim bir önceki dönem fiyatına göre şekillenmektedir.

Çizelge 3.19 Yıllar itibari ile Türkiye'deki patates fiyatları

Yıllar	Patates Fiyatı (TL/kg)	Artış (%)	ÜFE Artış (%)
1998	60.409	188,0	54,3
1999	69.342	14,8	62,9
2000	86.208	24,3	32,7
2001	143.590	66,6	88,6
2002	196.357	36,7	30,8
2003	248.574	26,6	13,9
2004	201.365	-19,0	13,8
2005	413.333	105,3	7,7

İç piyasada fiyatların oluşumunda arz faktörü daha etkili gibi görülmektedir. Nitekim ürünün pazara en çok sunulduğu ağustos-eylül aylarında fiyatlar daha düşük seyretmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre yıllar itibari ile Türkiye'deki patates fiyatları ve artış oranları Çizelge 3.19'da görülmektedir. Çizelgeden de görüleceği üzere patates fiyatları ÜFE artış oranı ile pek bir paralellik göstermemektedir. Bunun nedeni patates arzında yaşanan sıkıntılardır.

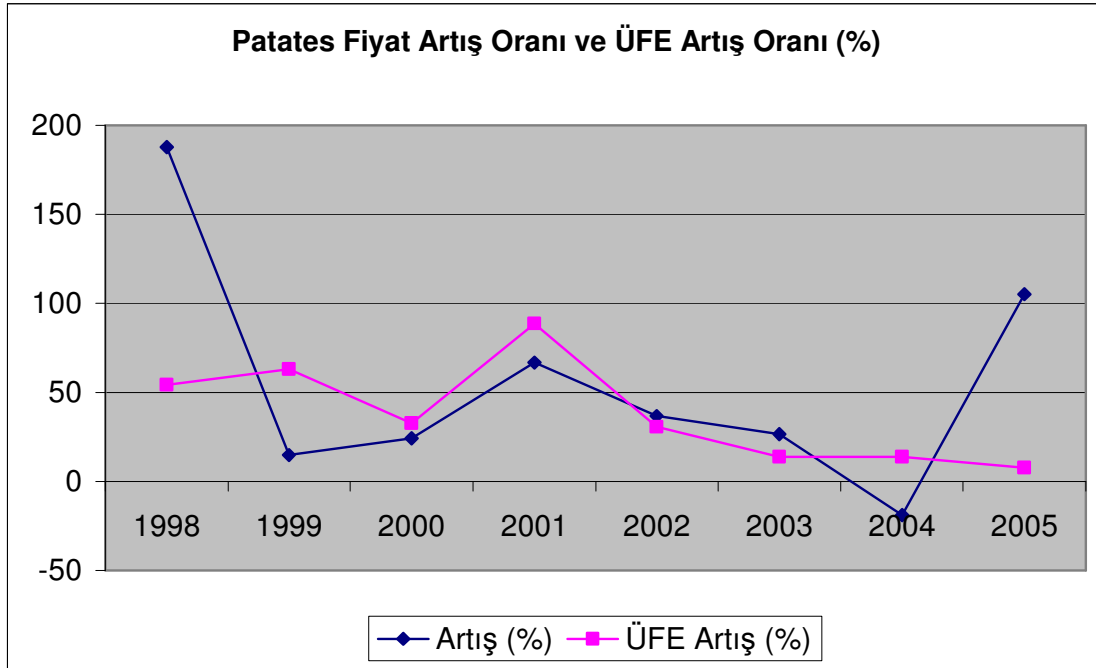
Şekil 3.13'te yıllar itibari ile Türkiye'deki patates fiyat artış oranı ile ÜFE artış oranı değişimleri görülmektedir.

Patatesin çeşitli açılardan olumlu özellikleri şöyledir:

- Toprakta bekletisi az
- Üretim alanları çok
- Türkiye'de hektar başına patates verimi dünya ortalamasının üzerindedir

Olumsuz özellikleri ise şöyledir:

- Yüksek hammadde maliyeti
- Yüksek depolama maliyeti, depolama süresi çok kısıtlı
- Yüksek miktarda atık su ortaya çıkması



Şekil 3.13 Yıllar itibari ile Türkiye’de patates fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları

Patatesten biyoetanol üretiminin yanı sıra atık patates kabuğundan da biyoetanol üretilebilme imkanı araştırılmaktadır.

3.5.4 Arpa

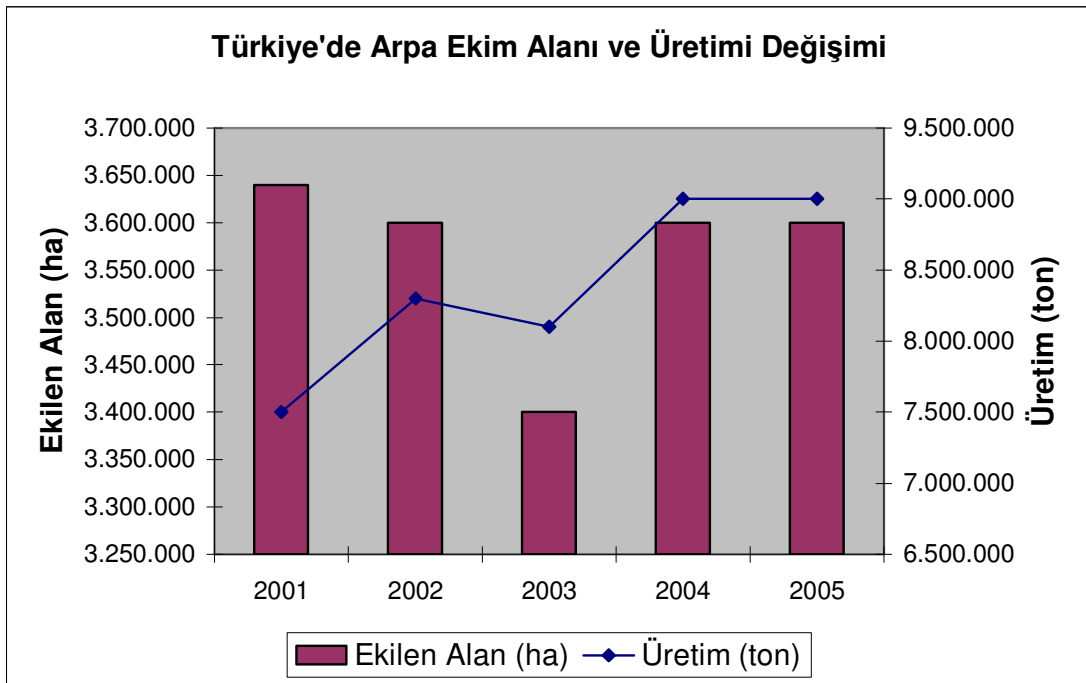
Arpa, Türkiye’de hububat ürünleri arasında ekiliş alanı bakımından buğdaydan sonra gelen üründür, hububat ekim alanı içerisinde yaklaşık olarak %26’lık bir paya sahiptir. Buğday gibi Türkiye’nin tüm bölgelerinde yetiştirilmektedir. Birim alandan alınan ürün miktarı bakımından buğdaya göre biraz daha avantajlı bir üründür. Türkiye’de üretilen arpanın tamamına yakını yurtiçinde tüketilmektedir. Tüketimin bir kısmı hayvan beslemede kullanılmaktadır, arpa tüketiminin bir kısmı ise bira sanayinde kullanılmaktadır. Bira üretimi için gerekli olan malt iki sıralı beyaz arpalardan elde edilmektedir. Biralık arpalarda protein oranının (%9-10,5 gibi) düşük olması gereklidir. Serin iklim tahılları içinde iklim istekleri en yüksek olan cins arpadır. Fazla soğuk ve fazla sıcak olmayan, nispi nemi yüksek olan yerlerde iyi gelişmektedir. Sıcaklığın 0°C’nin altına düşmeyen ve 18-20°C’nin üstüne çıkmayan, nispi nemi sürekli olarak %70-80 arasında bulunan yerler arpa için en uygun ekolojilerdir (T.C.

Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, 2004).

Çizelge 3.20 Türkiye’de arpa ekim alanları, üretim miktarları ve verimi

Yıl	Ekilen Alan (ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)
2001	3.640.000	7.500.000	2,06
2002	3.600.000	8.300.000	2,31
2003	3.400.000	8.100.000	2,38
2004	3.600.000	9.000.000	2,50
2005	3.600.000	9.000.000	2,50

Çizelge 3.20’de Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre yıllar itibariyle Türkiye’nin arpa üretimi, ekim alanı ve verim miktarları verilmiştir. Arpa ekim alanlarında ve birim alandan alınan ürün miktarında son yıllarda önemli bir değişim olmamıştır. Şekil 3.14’te yıllar itibari ile Türkiye’nin arpa ekim alanı ve üretim miktarları görülmektedir.



Şekil 3.14 Yıllar itibari ile Türkiye’nin arpa ekim alanı ve üretim miktarı

Türkiye arpa üretiminde de kendine yetebilen bir ülkedir. 2005 yılında arpa talebi 8 milyon tona ulaşmıştır. Çizelge 3.21’de yıllar itibari ile Türkiye’nin arpa tüketimi ve üretimi görülmektedir.

Arpa hasadı, tane nemi %13’ün altına düştükten sonra yapılmalıdır. İyiye kurumadan hasat edilmiş arpa ürününde kavuzlar kolayca renk atar, kalite düşer. Ekimin uygun zamanda yapılması, arpanın yetiştirildiği koşullardaki elverişli suyu ve toplam sıcaklığı en iyi şekilde değerlendirebilecek sayıda ve büyüklükte bitki oluşmasına yol açmaktadır. Kışlık çeşitler geç ekildiğinde; ilkbahar ile sıcaklık ve gün uzunluğunun arttığı yaz aylarında, büyüme ve gelişmesini daha hızlı bir şekilde tamamlamak zorunda kalmaktadır. Bunun sonucunda, elverişli su ve sıcaklık yeterince değerlendirilemediği için verim azalmaktadır. Kuru tarım bölgelerinde ekim zamanı, daha çok yağışa bağlı olarak uygun toprak nemini yakalamakla yakından ilgili olduğundan yıllara göre önemli farklılıklar gösterebilmektedir. Orta Anadolu ve Konya yöresinde yapılan araştırma sonuçlarına göre kışlık arpa için en uygun ekim zamanının 21 Eylül-19 Ekim arası olduğu tespit edilmiştir. Kıyı Bölgelerimizde ise ekim biraz geciktirilerek, 15 Kasım-15 Aralık arasındaki bir aylık dönemde yapılmalıdır (T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, 2004). Yazlık ekim için en uygun ekim zamanı 1-15 Mart olarak tespit edilmiş ve ekimde gecikildikçe verimde bariz bir düşme görülmüştür. Türkiye’de arpa hasadı haziran, temmuz aylarında yapılmaktadır. Arpa için istenilen düzeyde verim alınabilmesi için sulama imkanının olduğu yerde yeteri kadar sulanması gerekmektedir. Ancak usulüne uygun bir sulama yapıldığı takdirde istenilen düzeyde ürün alınabilmektedir.

Çizelge 3.21 Türkiye’de arpa talebi ve üretim miktarları

Yıl	Arpa Tüketimi (ton)	Üretim (ton)
2001	7.379.698	7.500.000
2002	7.720.074	8.300.000
2003	7.793.827	8.100.000
2004	7.895.000	9.000.000
2005	8.000.000	9.000.000

Arpanın depolanmasında kullanılacak ambar; nem almayan, kuru, havadar ve aydınlık bir yer

olmalıdır. Depolanan arpanın nem oranının % 13'ün altında olması ve sıcaklığı 15°C'nin altında olması gerekir. Bu sıcaklığın altında ambar zararlılarının faaliyeti azalır.

Dünya üzerinde arpadan biyoetanol üretimi azdır. Arpadan biyoetanol üretiminin İspanya'da yapıldığı görülmektedir. Arpanın, kendisi gibi tahıl ürünü olan mısır ve buğdaya nazaran daha az nişasta oranına sahip olması ve bir dış kabuğa sahip olması biyoetanol üretiminde pek tercih edilmemesinde rol oynamaktadır. Fermantasyon sürecinden önce tahıl tanesindeki kabuğun ve nişasta dışı kısmın ayrılması üretim sürecini ve maliyeti etkilemektedir. Arpadan biyoetanol üretilmesi çalışmaları doğal olarak kabuksuz arpaların yetiştirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Kuru ağırlık olarak bakıldığında arpanın yapısındaki dönüştürülebilir nişasta oranı ortalama olarak %55'dir (BBI International, 2002). Çizelge 3.22'de çeşitli kaynaklarda yer alan arpa için biyoetanol verimleri görülmektedir. Arpa, bir sonraki hasat sezonuna kadar tahıl ambarında depolanabilir. Arpanın içerisinde biyoetanol üretimi için kullanılacak madde diğer tahıl ürünlerinde olduğu gibi nişastadır, dolayısı ile nişasta bir dönüşüm basamağından sonra glikoza dönüştürülerek fermantasyona tabi tutulur. Biyoetanol üretim süreci de yine diğer tahılların izlediği yolu izler. Arpa öğütülmeden önce kabuğundaki aşındırıcı kısmın ayrılması gerekir. Ekipmanlara zarar vermemesi için arpa kabuğunun yaklaşık olarak %3'ü ayrılmak zorundadır. Arpa öncelikle öğütülür. Kontrol edilen sıcaklık ve nem değerlerinde malt haline getirilir ve enzimler yardımı ile nişasta glikoza dönüştürülür. Glikoz ise daha sonra mayalar yardımı ile fermantasyona uğratılır.

Çizelge 3.22 Çeşitli kaynaklarda yer alan arpa için biyoetanol verimleri

Kaynak	Biyoetanol Verimi (litre biyoetanol/ton arpa)
(Rice, 1999)	298
(Mornier ve Lanneree, 2000)	275
(BBI International, 2002)	326
(O'Connor, 2003)	320
(Meyers Norris Penny LLP, 2004)	320-330
(OECD, 2005)	295

Biyoetanol üretiminde hammadde olarak arpanın kullanılması durumunda yine hayvan yemi olarak kullanılabilecek DDGS denilen yan ürün elde edilebilmektedir ve hayvan yemi için önemli olan protein miktarı arpa yan ürünü için yan ürünün yaklaşık olarak %29'udur. Biyoetanol üretiminde arpa kullanılması durumunda damıtma işlemi sonucunda elde edilebilecek yan ürün miktarı yaklaşık olarak kullanılan arpa ağırlığının %30'u kadardır (Çizelge 3.23) (BBI International, 2002). Kanada'da yapılan bir çalışma çeşitli hammadde türlerinden elde edilen yan ürünlerin birbirlerine göre değerlerini ortaya koymuştur, bu değerler yan ürün içerisindeki protein ve enerji miktarına göre belirlenmiştir. Buna göre mısırdan elde edilen yan ürünün değeri 1 birim olarak alınmış ve arpadan elde edilen yan ürünün değerinin 0,9 birim olacağı hesaplanmıştır (Meyers Norris Penny LLP, 2004).

Kanada'da yapılan bir çalışmada, genel olarak arpadan biyoetanol üreten bir fabrikanın üretilen her litre biyoetanol için elektrik enerjisi tüketimi değeri 0,330 kWh/lt olarak ve doğal gaz enerjisi tüketimi değeri ise 13,5 MJ/lt olarak belirtilmiştir (Çizelge 3.23) (Meyers Norris Penny LLP, 2004).

Çizelge 3.23 Arpa hammaddesi için bazı değerlerin özeti

Elektrik Tüketimi	Doğal Gaz Tüketimi	Girdi Enerji Miktarı	Yan Ürün Oranı	Taşıma Maliyeti
0,330 kWh/lt	13,5 MJ/lt	16,97 GJ/ha/yıl	%30	0,01 £/lt

İngiltere'de ortaya konulan bir çalışma genel olarak arpa yetiştirilmesi için gerekli yıllık girdi enerji miktarını ortaya koymaktadır. Bu enerji miktarı hesaplamasında yakıt, makine-malzeme ekipmanları, gübreleme, bitki ve böcek ilaçları, işgücü ve tarladaki taşımalar göz önüne alınmıştır, gereken yıllık girdi enerji miktarı 16,97 GJ/ha/yıl'dır (Çizelge 3.23) (Salter, 2006).

İrlanda'da yapılan bir çalışmada tarladan 30 km uzaklıktaki tesis göz önüne alınmış ve üretilen her litre biyoetanole karşılık taşınacak arpa maliyetinin yaklaşık olarak 0,01 £/lt olacağı tahmin edilmiştir (Rice, 1999).

Arpada 2002 yılından itibaren TMO kendi alım fiyatlarını ilan ederek alım yapmaya başlamıştır. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre yıllar itibari ile Türkiye'deki arpa fiyatları ve artış oranları ise Çizelge 3.24'te görülmektedir.

Çizelge 3.24 Yıllar itibari ile Türkiye'deki arpa fiyatları

Yıllar	Arpa Fiyatı (TL/kg)	Artış (%)	ÜFE Artış (%)
1998	36.840	63,6	54,3
1999	55.108	49,6	62,9
2000	78.431	42,3	32,7
2001	118.496	51,1	88,6
2002	163.421	37,9	30,8
2003	220.338	34,8	13,9
2004	278.105	26,2	13,8
2005	289.167	4	7,7

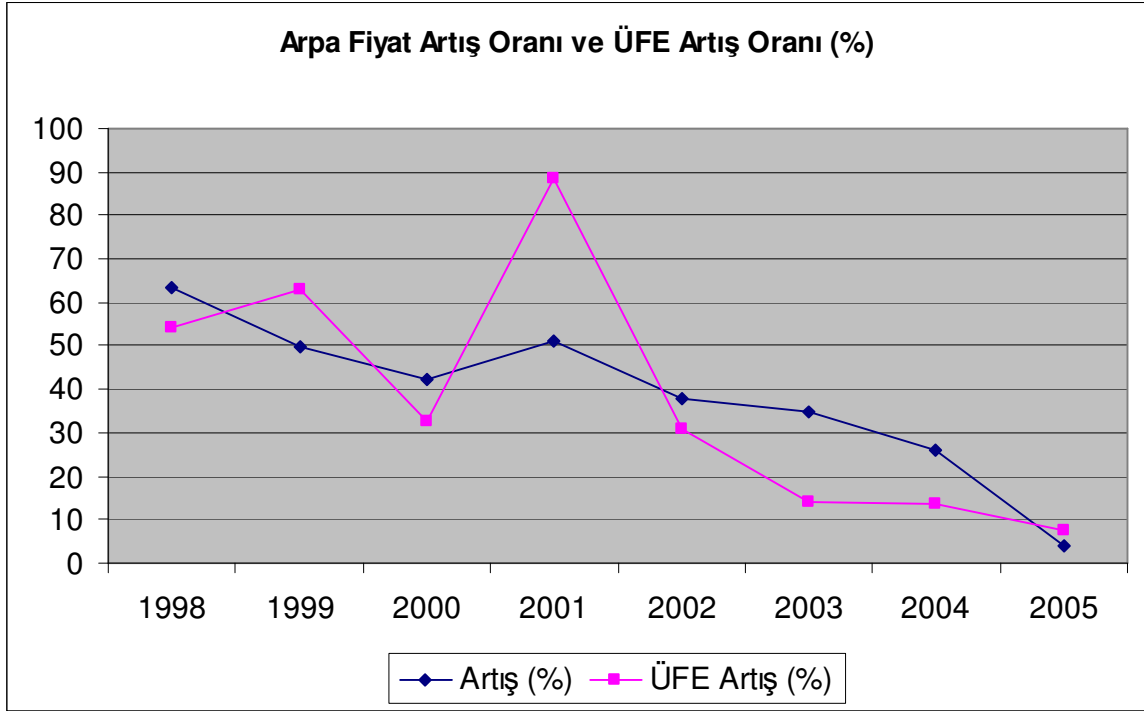
Şekil 3.15'te yıllar itibari ile Türkiye'deki arpa fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları görülmektedir.

Arpanın çeşitli açılardan olumlu özellikleri şöyledir:

- Tahıl dışı bitki kaynaklarına göre iyi nişasta miktarı
- İyi depolama imkanı
- Atık su miktarı az

Olumsuz özellikleri ise şöyledir:

- Toprağı nispeten zorlaması
- İklim isteği fazla
- Nispeten pahalı hammadde
- Birim alandan üretim miktarı düşük
- Kabuklu bir yapıya sahip olması dolayısı ile fazladan işlem gerektirmesi



Şekil 3.15 Yıllar itibari ile Türkiye’de arpa fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları

Bu özelliklerinin yanı sıra arpanın yapısındaki beta-glucan polisakkaridi, ezilmiş arpa karışımını ekonomik olarak karıştırma, fermantasyona uğratma ve damıtma olanaklarından uzaklaştırmaktadır.

3.5.5 Mısır

Mısır, Türkiye’de hububat ürünleri arasında üretim miktarı bakımından üçüncü sırada yer alan bir üründür, hububat ekim alanı içerisinde yaklaşık %4’lük bir paya sahiptir. Hemen hemen Türkiye’nin tüm bölgelerinde yetiştirilebilmesine rağmen ekonomik olarak Adana başta olmak üzere Akdeniz Bölgesi’nde, Karadeniz Bölgesi’nde ve Marmara Bölgesi’nde yetiştirilmektedir.

Mısır, gerek besin maddesi olarak gerekse glikoz, nişasta, yağ ve yem sanayinin ham maddesi olarak önemli bir üründür. Türkiye’de üretilen mısırın tamamına yakını yurtiçinde tüketilmektedir. İçinde bulundurduğu zengin besin maddesi nedeniyle insan ve hayvan beslenmesinde büyük değer taşımaktadır. Dünyada üretilen mısırın büyük bir bölümü hayvan yemi olarak tüketilmektedir. Mısır her türlü bitki ile münavebeye girer. Münavebe için iyi bir bitkidir. Kendisinden sonra ekilen bitkinin verimi genellikle münavebeye giren diğer tahıllara göre daha yüksektir.

Mısır tarımının belli ölçüde su istemesi nedeniyle, bu ürünün verimi diğer hububata göre daha yüksektir. Verimin yüksek olması özellikle bu ürünün Çukurova’da ikinci ürün olarak ekimini artırmıştır (TZOB, 2003). Uzun süreli depolama için tane mısır ürününde rutubet oranı %13’e düşürülmelidir. Ürün rutubetli bir şekilde depolanacak olursa, tanenin normal solunumundan dolayı silonun ortasında sıcaklık oluşacaktır. Bu da havanın rutubetini artırarak küf mantarlarının gelişmesine neden olacaktır. Türkiye’de mısır üretimin yaklaşık % 85’i başta Akdeniz Bölgesi olmak üzere Marmara ve Karadeniz Bölgesi’nde yapılmaktadır. Türkiye’de verimli hayvan yetiştiriciliğinin gelişmesi ile paralel gelişme gösteren yem sanayi mısıra duyulan talebi artırmıştır.

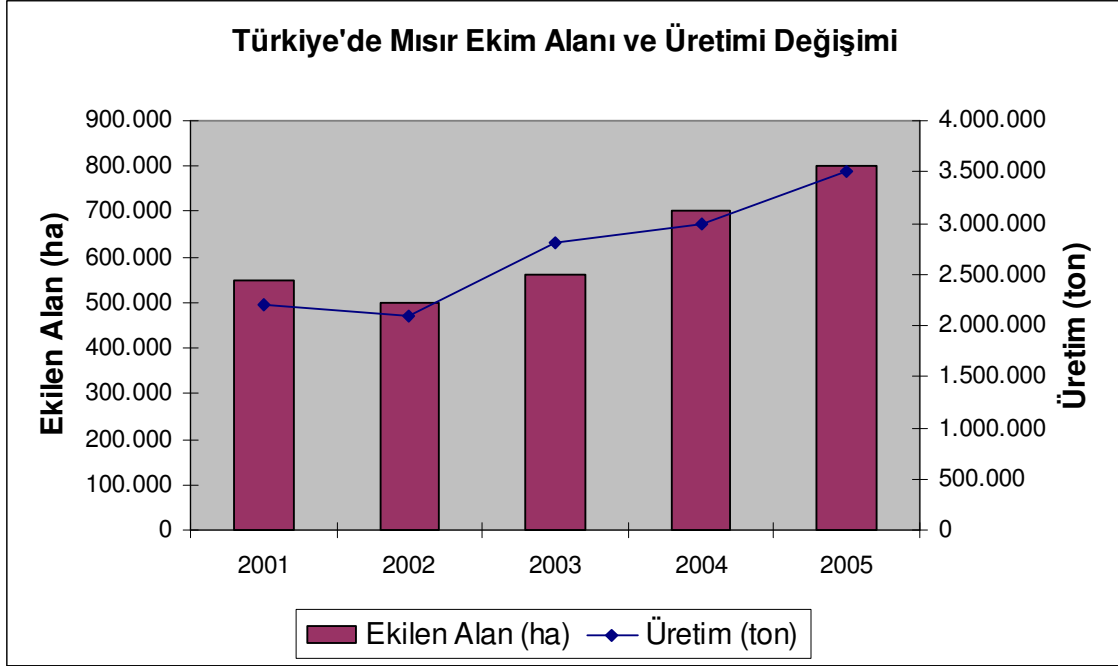
Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre hazırlanan Çizelge 3.25 ve Şekil 3.16’da da görüldüğü gibi mısır üretim miktarı 2001 yılında 2.200.000 ton, 2002 yılında 2.100.000 tondur. Daha sonrasında ise mısır üretiminin dikkat çekici bir şekilde artarak 2003 yılında 2.800.000 tona, 2004 yılında 3.000.000 tona ve 2005 yılında ise 3.500.000 tona çıktığı görülmektedir. Mısır üretimindeki artışın en önemli nedeni, ekonomik olarak üretim yapılan bölgelerde hibrit tohum kullanımının yaygınlaşması ve üretim tekniklerindeki gelişmelerdir.

Çizelge 3.25 Türkiye’de mısır ekim alanları, üretim miktarları ve verimi

Yıl	Ekilen Alan (ha)	Üretim (ton)	Verim (ton/ha)
2001	550.000	2.200.000	4,0
2002	500.000	2.100.000	4,2
2003	560.000	2.800.000	5,0
2004	700.000	3.000.000	4,3
2005	800.000	3.500.000	4,4

Şekil 3.16’da Türkiye’deki mısır ekim alanı ve üretim miktarı değişimleri görülmektedir. Türkiye’deki mısır verimi dünya ortalamasının üzerinde, ABD ve AB’nin altındadır. Ancak, ticari olarak üretimin yoğun şekilde yapıldığı Adana ve Sakarya illerimizde ortalama mısır verimi 8 kg/ha’dır. Özellikle Çukurova, Amik Ovası, Ege Bölgesi ve Güney Doğu Anadolu Bölgesinde ikinci ürün olarak ekilen mısırdaki verim dünya ortalamasının üstündedir. Kümes hayvanları besisi yeminde yoğun olarak kullanılan mısırın talebi yurtiçi üretim ve yurtdışı

fiyatlara göre değişmektedir.



Şekil 3.16 Yıllar itibari ile Türkiye'nin mısır ekim alanı ve üretim miktarı

Çizelge 3.26'dan da görüldüğü gibi Türkiye mısır ürününde kendine yetebilen bir ülke değildir. Ancak son yıllardaki üretimin dikkat çekici oranlarda artışı, talebe cevap verecek düzeyde bir üretimin yapılabilceği sinyali vermiştir.

Çizelge 3.26 Türkiye'de mısır tüketimi ve üretim miktarları

Yıl	Mısır Tüketimi (ton)	Üretim (ton)
2001	2.750.000	2.200.000
2002	3.264.000	2.100.000
2003	3.340.000	2.800.000
2004	4.314.000	3.000.000
2005	3.800.000	3.500.000

Mısır tarımında toprak sıcaklığı en az 10°C olduğunda ekim yapılabilir. En ideal ekim zamanı

toprak sıcaklığının 13-15°C olduğu zamandır. Ege Bölgesi'nde bu dönem iklim ortalamalarına göre nisan ayının ilk yarısıdır. İkinci ürün ise buğday hasadından sonra yani, haziran ayının son yarısında ekilmelidir. Mısırın yetiştirme süresi 70-150 gündür, Türkiye'de eylül ayında hasat yapılmaktadır. Mısır tarımının sulamasız olarak yapılabilmesi için yıllık yağışın ortalama 600-1200 mm kadar olması gerekmektedir. Türkiye'de yıllık yağış miktarının 500-600 mm olduğu yerlerde bile mısırı yetiştirmek mümkündür. Ancak böyle alanlarda sulama yoluyla yağış açığı giderilmeye çalışılır.

Dünya üzerinde mısırdan biyoetanol üretimi önemli bir paya sahiptir. Bunun nedeni ise dünyanın en büyük biyoetanol üreticilerinden biri olan ABD'nin, üretiminin tamamına yakını mısırdan sağlamasıdır. Mısırın kuru ağırlığı dikkate alındığında ortalama olarak %70'ini nişasta oluşturmaktadır ve bu oran mısırı biyoetanol üretimi için cazip hale getirmektedir. Çizelge 3.27'de çeşitli kaynaklarda yer alan mısır için biyoetanol verimleri görülmektedir. Mısır, bir sonraki hasat sezonuna kadar tahıl deposunda depolanabilir.

Çizelge 3.27 Çeşitli kaynaklarda yer alan mısır için biyoetanol verimleri

Kaynak	Biyoetanol Verimi (litre biyoetanol/ton mısır)
(Wang vd., 1999)	384-399
(Levelton Engineering Ltd., 2000)	470-475
(BBI International, 2002)	398
(Graboski, 2002)	392-399
(Shapouri vd., 2002)	393-399
(O'Connor, 2003)	400
(IEA, 2004)	366-417

Mısır da tahıl grubuna girdiği için mısırdan biyoetanol üretimi süreci diğer tahılların izlediği süreçlerle benzerlik gösterir. Günümüzde mısırdan biyoetanol üretimine bakıldığında karşımıza başlıca iki üretim yöntemi çıkmaktadır, bunlar yaş öğütme ve kuru öğütmedir. Yaş öğütme yönteminde mısır taneleri öncelikle ılık su içerisinde ıslatılırlar. Bu işlem sayesinde

tane içindeki proteinler ayrılır, nişasta açığa çıkar ve öğütme işlemi için mısır tanesi yumuşatılmış olur. Öğütme işlemi ile mısır özü, lif ve nişasta elde edilir. Lif ve ilk adım olan suya bastırmadan elde edilen sulu karışım yoğunlaştırılarak hayvan yemi olarak elden çıkarılabilir ve kuru ağırlık olarak yaklaşık %35'i proteindir. Mısır özü, yağ elde etmek için kullanılır, nişasta ise santrifüj ve sakkarifikasyon aşamasından geçer. Bu aşamadan sonra ise daha önce bahsedilen biyoetanol üretim aşamaları izlenir. Kuru öğütme yönteminde ise mısır taneleri doğrudan öğütücüde öğütülürler ve un kıvamına getirilirler. Bu aşama ile mısır özü, lif ve nişasta elde edilir. Daha sonra bir şeker çözeltisi elde etmek için karışım hidrolize edilir ve sakkaroz enzimler veya sulu asit kullanılarak parçalanır. Kuru öğütme yöntemi günümüzde fabrika kurulumu ve işletimi için olan düşük sermaye yatırım oranı ile tercih edilmektedir. Teknolojik ilerlemeler kuru öğütme yöntemini daha cazip ve verimli hale getirmiştir.

Biyoetanol üretiminde hammadde olarak mısırın kullanılması ile mısır özü gibi yan ürünün yanında damıtma işlemi sonucu hayvan yemi olarak kullanılan yan ürün (DDGS) de elde edilmektedir. Biyoetanol üretiminde mısır kullanılması durumunda damıtma işlemi sonucunda elde edilebilecek yan ürün miktarı yaklaşık olarak kullanılan mısır ağırlığının %32'si kadardır (Çizelge 3.28) (Meyers Norris Penny LLP, 2004). Mısırdan elde edilen yan ürünün yaklaşık olarak %30'u ham proteindir.

Çizelge 3.28 Mısır hammaddesi için bazı değerlerin özeti

Elektrik Tüketimi	Doğal Gaz Tüketimi	Girdi Enerji Miktarı	Yan Ürün Oranı	Taşıma Maliyeti
0,240 kWh/lt	9,8 MJ/lt	18,71 GJ/ha/yıl	%32	0,03 \$/lt

Kanada'da yapılan bir çalışma, genel olarak mısırdan biyoetanol üreten bir fabrikanın üretilen her litre biyoetanol için yaklaşık 0,240 kWh/lt elektrik enerjisi ve 9,8 MJ/lt doğal gaz enerjisi tükettiğini ortaya koymuştur (Çizelge 3.28) (Meyers Norris Penny LLP, 2004).

Southampton Üniversitesi kaynaklı bir çalışma genel olarak mısır yetiştirilmesi için gerekli yıllık girdi enerji miktarını ortaya koymaktadır. Bu enerji miktarı hesaplamasında yakıt, makine-malzeme ekipmanları, gübreleme, bitki ve böcek ilaçları, işgücü ve tarladaki taşımalar göz önüne alınmıştır. Çalışmada ortaya konulan mısır yetiştirilmesi için gereken yıllık girdi enerji miktarı 18,71 GJ/ha/yıl'dır (Çizelge 3.28) (Salter, 2006).

Çizelge 3.29 Yıllar itibari ile Türkiye’deki mısır fiyatları

Yıllar	Mısır Fiyatı (TL/kg)	Artış (%)	ÜFE Artış (%)
1998	45.905	73,1	54,3
1999	68.945	50,2	62,9
2000	101.723	47,5	32,7
2001	155.062	52,4	88,6
2002	222.734	43,6	30,8
2003	301.817	35,5	13,9
2004	362.756	20,2	13,8
2005	365.833	1	7,7

ABD’de yapılan bir çalışmada tarladan 70 km uzaklıktaki tesis göz önüne alınmış ve üretilen her litre biyoetanol karşılık taşınacak mısır maliyetinin yaklaşık olarak 0,06 \$/lt olacağı tahmin edilmiştir (Pimentel, 2003). 30 km uzaklıktaki bir tesis için bu değer yaklaşık olarak 0,03 \$/lt kabul edilebilir.

ABD’nin biyoetanol üretiminin yaklaşık tamamını mısırdan karşılamasının nedenlerinin başında hem mısırdan dünyanın en büyük üretici olması hem de bunu dünya ortalamasının altında bir maliyetle gerçekleştirebilmesi gelmektedir. Dünyada 2004 yılı ortalama mısır fiyatları 129 \$/ton civarında iken ABD’de bu değer 109 \$/ton seviyesinde seyretmiştir. Türkiye’de bu değerler dünya ortalamasının üzerindedir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre Türkiye’deki mısır fiyatları ve artış oranları Çizelge 3.29’da görülmektedir.

Şekil 3.17’de yıllar itibari ile Türkiye’deki mısır fiyat artışı ve ÜFE artışı görülmektedir.

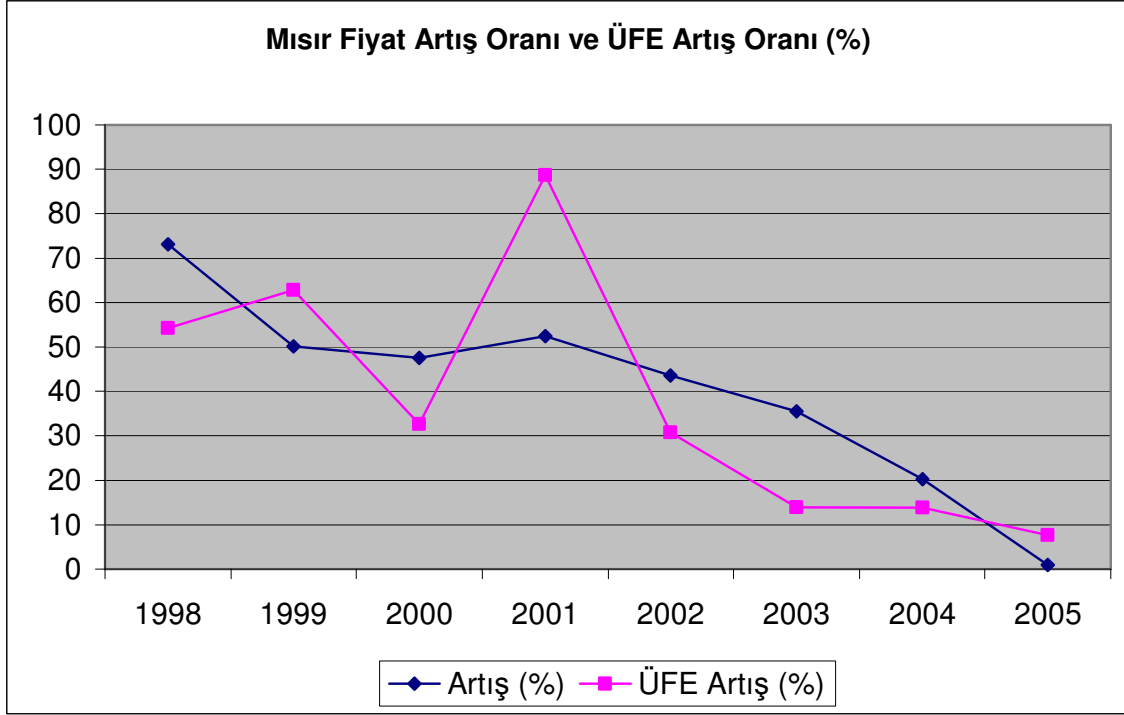
Mısırın çeşitli açılardan olumlu özellikleri şöyledir:

- Nişasta miktarı çok iyi

- Toprakta beklenmesi az
- Mönavebeye gereksinimi yok
- Üretim alanları çok

Olumsuz özellikleri ise şöyledir:

- Yüksek gübreleme maliyeti
- Pahalı hammadde



Şekil 3.17 Yıllar itibari ile Türkiye’de mısır fiyat artış oranı ve ÜFE artış oranları

Mısırın içerdği yüksek nişasta oranı ve Türkiye’nin son yıllardaki mısır üretimindeki dikkate değer artışlar mısırı biyoetanol üretimi için kullanılabilecek önemli bir hammadde seçeneği haline getirmektedir.

3.5.6 Hammaddelerin Birbirlerine Göre Özellikleri

Biyoetanol üretiminde birçok tarımsal ürün hammadde olarak kullanılabilir. Hangi hammaddenin biyoetanol üretimi için kullanılacağı, sadece hammaddeden ne miktarda biyoetanol elde edilebileceği kriterine veya diğer bazı kriterlere bakılarak belirlenemez. Birçok kriterin uzmanların görüşü alınarak bir arada değerlendirilmesi ve uygun seçeneğin belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada ele alınan şeker içeren bitkilerden şeker pancarının, nişasta içeren tahıllardan buğdayın, arpanın ve mısırın, nişasta içeren yumru bitkilerden patatesin

biyoetanol üretiminde çeşitli açılardan birbirlerine göre üstün yönleri ve zayıf yönleri vardır. Bahsi geçen şeker içeren ürünlerin ve nişasta içeren ürünlerin fermantasyon ve damıtma süreçleri genel olarak benzerdir. Bu hammaddelerin birbirlerine göre farklılıkları yetiştirilmelerinde, depolama gereksinimlerinde, fermantasyonda işlenecek şekerin hazırlanmasında ve yan ürünlerde ortaya çıkmaktadır.

Şeker pancarı hasat edildiği hali ile kısa depolama süresine sahiptir. Şeker pancarının biyoetanol üretiminde hammadde olarak kullanımı pancar işleme kampanya dönemiyle sınırlıdır, kampanya süresi 120-140 gün arasında değişmektedir. Ancak sulu şerbetin koyulaştırılması ile elde edilen koyu şerbet depolanabilir. Koyu şerbetin depolanması ise ek olarak koyulaştırma, depolama ve koruma maliyetleri getirecektir. Patatesin içerisindeki nişasta oranının düşmeye başlaması ise yaklaşık olarak 5 ay almaktadır. Buğday, arpa ve mısır gibi tahılların ise depolanabilme kabiliyetleri şeker pancarı ve patatese göre iyidir, bir sonraki hasat dönemine kadar tahıl ambarları içerisinde depolanabilirler.

Doğrudan şeker içeren ürünlerde fermantasyona hazırlık; ürünün ezilmesi, ıslatılması, kimyasal işlemle şekerin çıkarılması şeklindedir. Ancak bu ürünlerin içerdiği yüksek su ve şeker miktarı çabuk bozulmalarına zemin hazırlar. Hammaddelerin artıkları damıtma işlemi için yakacak olarak kullanılabilir, doğrudan şeker içeren ürünlerden olan şeker pancarının artıkları damıtma işleminde yakılamazlar fakat şeker pancarı küspesi ve pancar başı hayvan yemi için kullanılabilir. Pancar başları aynı zamanda tarlada bırakılarak gübre şeklinde veya erozyona karşı kullanılabilir.

Nişasta içeren ürünlerde altı karbonlu şeker birimleri birbirlerine uzun ve dallanmış zincir şeklinde bağlanmışlardır. Maya bu zincirden etanol üretmez. Bu nişasta zinciri bir veya iki grup şeklinde altı karbonlu şeker birimlerine dönüştürülmelidir. Nişastanın bu dönüştürülme süreci basit bir süreçtir, nişasta zinciri arasındaki bağlar ısı ve enzim yardımı ile veya hafif bir asit çözeltisi yardımı ile koparılabilir.

Biyoetanol üretimi açısından bakıldığında nişasta içeren ürünlerin içerisindeki uzun ve dallı altı karbonlu şeker yapılarının olumlu ve olumsuz yönleri vardır. Temel olumsuz yönü nişastanın şekere dönüştürülmesi için ayrı ekipman, işgücü ve enerji gerektirir. Fakat bahsedilen bu sürecin maliyeti toplam biyoetanol üretimi maliyetleri içerisinde büyük bir yer tutmamaktadır. Temel olumlu yanı ise bu ürünlerin fermantasyonda kullanılacak kısmının bozulmadan daha uzun süre depolanabilmesidir. Bu uzun süre bozulmadan kalabilme kabiliyeti fermantasyon öncesi bir dönüşüm basamağının gerekliliği ile alakalıdır, mayalar da

dahil olmak üzere birçok mikroorganizma uzun zincirli bu şeker birimlerine etki edememektedirler. Bazı mikroorganizmalar çevresel şartların uygun olduğu ortamlarda bu zincirleri bozacak enzimler üretebilmektedirler fakat bozulma hızı düşük olmaktadır. Ürünler, birçok mikroorganizmanın yaşayamadığı %12'lik rutubet düzeyine kadar kurutulduklarında nişastanın bozulma hızı çok düşer.

Buğday, arpa ve mısır gibi tahılların biyoetanol üretimi sürecinde kullanılmasında izlenen genel aşamalar; pişirme, fermentasyon ve damıtma şeklindedir. Biyoetanol üretiminde tahılların kullanılması ile DDGS denilen ve damıtma işlemi sonucunda elde edilen protein bakımından zengin yan ürünler hayvan yemi olarak kullanılırlar. Tahıllar tahıl ambarlarına getirilmeden önce çiftçinin elinde bekletilir, tahılın elden çıkarılması süreci zor bir süreç değildir.

Çizelge 3.30 Hammadde karakteristiklerinin özeti

Hammadde Tipi	Temel Avantajlar	Temel Dezavantajlar
Şeker içeren bitkiler (şeker pancarı, şeker kamışı, tatlı sorgum vb.)	1. Hazırlık süreci düşüktür. 2. Hektar başına biyoetanol verimi fazladır. 3. Yan ürünler toprak ıslahı veya hayvan yemi için kullanılabilir	1. Uzun süreli depolama şeker kaybına yol açmaktadır. 2. Bazı bitkilerin tarımı çiftçiler tarafından iyi bilinmemektedir.
Nişasta içeren ürünler: Tahıllar (buğday, arpa, mısır vb.), Yumru bitkiler (patates vb.)	1. Genel olarak depolama teknikleri gelişmiştir. 2. Bu ürünlerin tarımı çiftçiler tarafından bilinmektedir. 3. Yan ürünün protein değeri yüksektir.	1. Nişasta içerdiklerinden şekere dönüşüm aşamasını gerektirmektedirler. 2. Bazı ürünlerin yan ürünlerinde alfa toksin olabilmektedir.

Patates ve şeker pancarı gibi yumru ve kök bitkileri ise bakteriler tarafından çabuk bozulmaya uğratılırlar. Bu bitkiler soğuk ve kuru ortamlarda depolanırlar. Bu bitkilerin işlenmesi veya

taşınması sırasında bant konveyörler kullanılır. Yumru ve kök bitkileri için bitkilerin pislik ve taş parçalarından temizlenmesi fermantasyon ortamı için önemlidir. Bu bitkilerin birim alan başına verimi tahıl ürünlerine göre daha fazladır. Hammaddelerin çeşitli özelliklerinin özeti Çizelge 3.30’da görülmektedir.

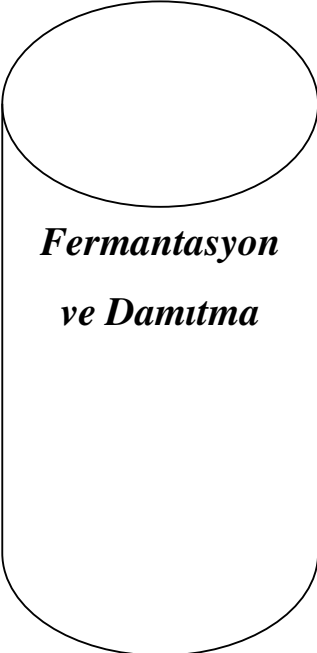
Genel olarak nişasta içeren ürünlerin nişasta içeren ürünlerle ve şeker içeren ürünlerin şeker içeren ürünlerle biyoetanol üretimi sürecinde izledikleri aşamalar benzerlik gösterir. Ancak bir biyoetanol tesisinde birden fazla hammaddeden dönüşümlü olarak üretim yapılması genellikle tercih edilmemektedir. Farklı hammaddeler farklı işlem şartları ve ekipmanlar gerektireceğinden dönüşümlü üretim yapıldığında verim düşmesi yönünde bir eğilim ortaya çıkabilmektedir. Şekil 3.18’de hammaddelerin biyoetanol üretimi sürecindeki bazı özellikleri ve maruz kaldıkları bazı işlemler görülmektedir.

3.6 Türkiye’nin Benzin Tüketimi Miktarı ve Tahmini Biyoetanol İhtiyacı

Son yıllarda artan petrol fiyatları ülkelerin geleceğe yönelik gelir, gider ve maliyet hesaplarını daha dikkatle gözden geçirmelerine yol açmıştır. Türkiye ve dünyadaki birçok ülke enerji kullanımı ile alakalı karmaşık bir ekonomik ve çevresel sorunla karşılaşmış bulunmaktadır. Bu noktada Türkiye’ye bakıldığında Türkiye’nin enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü petrol ile karşıladığı (yaklaşık olarak %42), bu petrolün yaklaşık olarak %90’ını dışarıdan satın aldığı görülür.

Türkiye’nin 2005 yılında petrol ithalatına harcadığı tutar yaklaşık olarak 8,6 milyar ABD Dolarını bulmuştur (Uyanık, 2006). Bu ithalat başlıca olarak Ortadoğu ülkelerinden gerçekleştirilmiştir. Petrolün temin edildiği bölgelerdeki istikrarsızlık ve Türkiye’nin yüksek oranda dışarıdan ithal edilen petrole bağımlılığı, 1970’lerde olduğu gibi fiyatlarda aşırı yükselmelere ve petrol sıkıntısına yol açmıştır. Bunun bir sonucu olarak birçok ülke petrol ithalatını azaltacak, stratejik ve ekonomik güçlerini artıracak yeni enerji kaynaklarını geliştirme çalışmalarına başlamışlardır.

Türkiye’nin dışa bağımlılığının sürmesi geçmişteki sıkıntılı ekonomik durumların yaşanabileceği sinyali vermektedir. Türkiye de bu tehlikeye karşı çeşitli devlet ve özel kuruluşların işbirliği sayesinde bazı önlemler almaya çalışmaktadır. Bunların bir sonucu olan yakıt alkolü üretimini yapan bir tesis 2005 yılında faaliyete geçmiştir, ancak kapasitesi yeterli düzeyde değildir.

	Depolama Süresi	Hammadde Hazırlığı	Şeker Çıkarma	Nişasta İçin Isıtma-Hidroliz	 <i>Fermantasyon ve Damıtma</i>	Yan Ürün
Şeker Pancarı	4 ay	Pancarların kesimi	Var	Yok		Pancar küspesi, melas
Buğday	Tahıl ambarında 12 ay	Öğütme, ezme	Yok	Var		DDGS veya yaş ürün
Patates	5 ay	Kesme, ezme	Yok	Var		Kuru veya yaş küspe
Arpa	Tahıl ambarında 12 ay	Öğütme, ezme	Yok	Var		DDGS veya yaş ürün
Mısır	Tahıl ambarında 12 ay	Öğütme, ezme	Yok	Var		DDGS veya yaş ürün

Şekil 3.18 Hammaddelerin bazı özellikleri ve maruz kaldıkları bazı işlemler

Biyoetanol üretimi yapan bu tesis dışında, Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. bünyesinde Turhal, Malatya, Erzurum ve Eskişehir Şeker Fabrikaları'nda alkol tesisleri bulunmakta ancak teknolojik olarak ilave yatırımlar gerekmektedir.

Türkiye'nin yıllar itibari ile benzin tüketimi otomobil üreticilerinin iyi performansa sahip dizel yakıtlı araç üretmeleri, likit petrol gazı (LPG) ile çalışan araçların ekonomik yakıt sebebi ile tercih edilmesi ve kaçak yakıtın önüne geçilememesi nedenleri ile azalmaktadır.

Türkiye'nin 2005 yılında toplam benzin tüketimi (95, 98 ve üstü oktanlı kurşunsuz benzinler ile süper benzin), 2004 yılı ile karşılaştırıldığında %7,1 oranında azalarak 2.674.070 ton olarak gerçekleşmiştir (PETDER, 2006).

Petrol İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye'nin yıllar itibariyle toplam benzin tüketiminin benzin türlerine göre değişimi Çizelge 3.31'de görülmektedir. Çizelgeden görüldüğü üzere yıllar itibari ile kurşunsuz benzin tüketimi artmakta, toplam benzin ve süper benzin tüketimi ise azalmaktadır.

Çizelge 3.31 Türkiye'nin yıllar itibari ile benzin tüketim miktarları (ton)

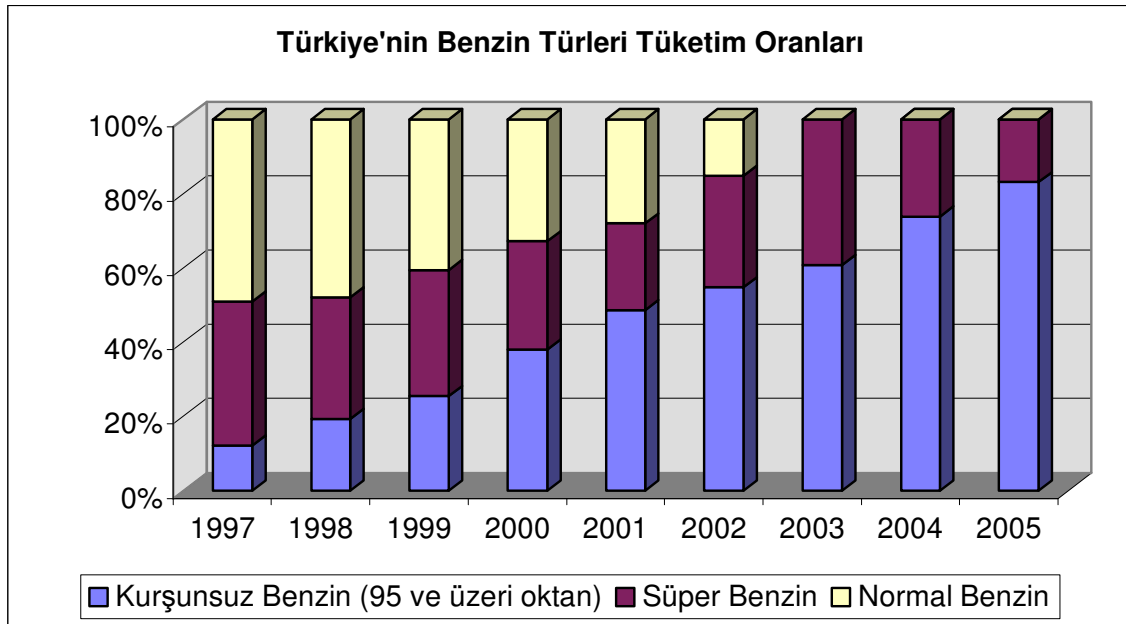
Yıllar	Kurşunsuz Benzin (95 ve üzeri oktan)	Süper Benzin	Normal Benzin	Benzinler Toplamı
1997	533.866	1.697.723	2.157.031	4.388.620
1998	862.271	1.469.257	2.142.998	4.474.526
1999	1.096.091	1.464.362	1.745.813	4.306.266
2000	1.387.639	1.068.236	1.200.003	3.655.878
2001	1.540.978	739.650	890.670	3.171.298
2002	1.699.819	933.200	470.832	3.103.851
2003	1.796.888	1.161.365	90	2.958.343
2004	2.123.576	753.541	24	2.877.141
2005	2.220.349	453.721	0	2.674.070

Not: 2004 ve 2005 değerleri PETDER'den alınmıştır.

Ürün kalitesini iyileştirmek ve AB standartlarına uyum sağlayabilmek amacıyla, 2002 yılının ikinci yarısından itibaren TÜPRAŞ (Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi) tarafından kurşunlu normal benzin üretimine son verilmiştir. Yıllar itibari ile Türkiye'nin benzin türleri tüketim oranları Şekil 3.19'da görülmektedir.

2005 yılı sonu itibari ile toplam benzin tüketimi içerisinde en büyük pay %83 ile kurşunsuz benzinin olup, süper benzinin payı %17 olarak gerçekleşmiştir. 2005 yılında kurşunsuz benzin kullanımı 2004 yılına göre %4,6 oranında artış göstermiştir, süper benzin kullanımı ise %39,8 oranında bir azalış göstermiştir (PETDER, 2006). Süper benzin kullanımı 1997 yılından itibaren azalan bir eğilim izlemektedir. 2002 ve 2003 yıllarındaki artış ise, bu dönemde piyasadan çekilen normal benzinin ikamesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.20'de Türkiye'nin toplam benzin tüketim miktarları görülmektedir.

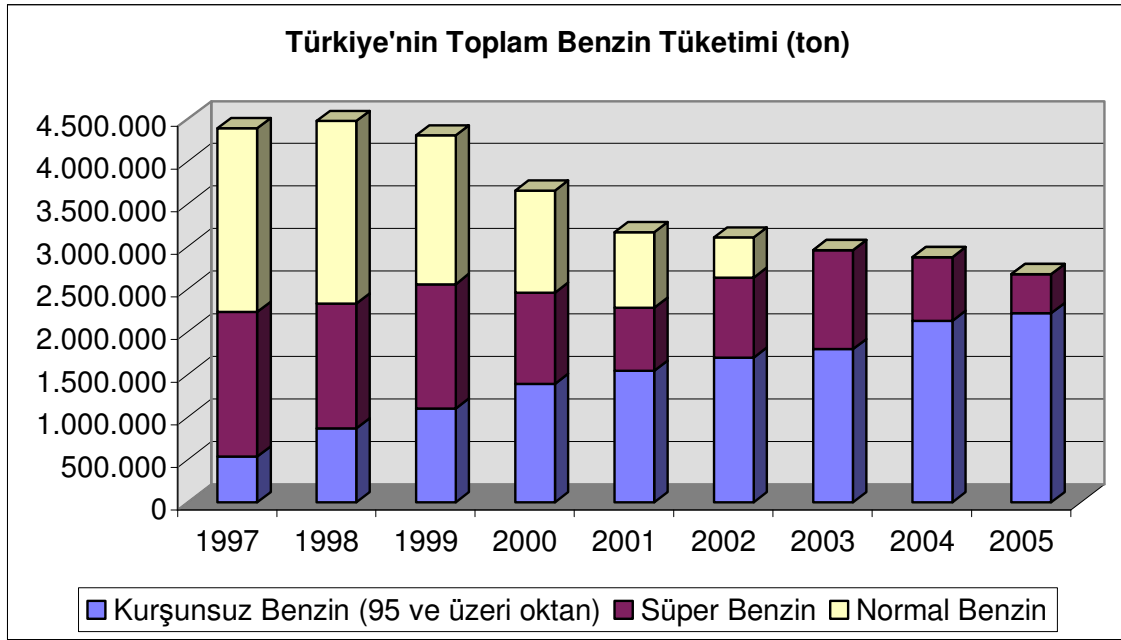
2006 yılı itibariyle süper benzin Çevre ve Orman Bakanlığı'nın AB direktiflerine uyum kapsamında yayınlamış olduğu "Yakıt Kalitesi Yönetmeliği" uyarınca piyasadan çekilecektir. Yumuşak sübaplı eski tip araçların ihtiyaç duyacağı süper benzin ise potasyum veya mangan katkılı kurşunsuz benzin ile ikame edilecektir (PETDER, 2006).



Şekil 3.19 Yıllar itibari ile Türkiye'nin benzin türleri tüketim oranları

Avrupa Birliğinde 2003/30/CE sayılı ve 8 Mayıs 2003 tarihli direktifi ile biyoyakıtların kullanımını teşvik etmek için belli karışım oranları hedeflenmiştir. Bu direktif ulaştırma için biyoyakıtlar ve diğer yenilenebilir yakıtlardan minimum oranı geniş ölçüde garantileyerek

biyoyakıtların kullanımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır.



Şekil 3.20 Yıllar itibari ile Türkiye'nin toplam benzin tüketim miktarları

Avrupa Birliğinde yayınlanan direktife göre üye devletler minimum karışım oranı referans değerini;

- 31 Aralık 2005 itibariyle % 2
- 31 Aralık 2010 itibariyle % 5,75 olarak garanti etmelidir.

Avrupa Birliği'nin yayınladığı bu direktifin ortaya koyduğu değerler hedeflenirse Türkiye'nin kısa süre içerisinde biyoyakıt karışım oranı değerini %5,75 seviyesine çıkarabilecek konuma gelmesi gerekmektedir.

Biyoetanol Türkiye'de TS EN 228 kurşunsuz benzin standardına göre %5 oranında benzine ilave edilebilmektedir. Türkiye'nin 2005 yılı itibari ile toplam benzin tüketimi 2.674.070 tondur. Türkiye'nin %5'lik bir karışım oranında biyoetanol ihtiyacı hacimsel olarak ifade edilirse 165.000.000 - 180.000.000 litre olacaktır.

4. BİYOETANOL ÜRETİMİ İÇİN EN UYGUN HAMMADDENİN SEÇİMİ

Biyoetanol üretimi için kullanılabilecek birçok tarımsal hammadde bulunmaktadır. Dünya üzerinde biyoetanol üretimi yapan ülkelere bakıldığında hammadde seçimi için bölgesel özelliklerin ve hammadde maliyetinin baş rolü oynadığı görülebilir. Burada bölgesel özelliklerden kasıt, o bölgenin coğrafi yapısıdır ve bu yapıya uygun bol miktarda yetiştirilen ürünlerdir. Bunun yanı sıra teknik ve diğer bazı faktörler de hammadde seçiminde rol oynamaktadır.

BBI International (2002) ve Meyers Norris Penny LLP (2004) tarafından ortaya konulan çalışmalara göre hammadde seçimi için dikkate alınacak kriterlerin başında hammaddenin yeterli ve sürekli olarak üretilebilmesi gelmektedir.

Biyoetanol üretim tesisinde üretim maliyetlerinin %65 ila %75'ini hammadde maliyeti oluşturmaktadır dolayısı ile biyoetanol üretimindeki maliyet kalemlerinin en büyüğünü oluşturan hammadde fiyatları çok önemlidir. Haydock (2003) hammaddelerin karşılaştırılmasında hammadde maliyetlerini kullanmıştır.

Henke vd. (2005) bazı hammaddelerin tarlada yetiştirilmesinden (gübreleme, ilaçlama, taşıma vb. için harcanan enerji) biyoetanole dönüştürülmesine kadar harcanan enerjileri ve sera gazı etkilerini değerlendirme için ortaya koymuştur.

Meyers Norris Penny LLP (2004) tarafından ortaya konulan bir çalışmada çeşitli hammaddelerin ton başına biyoetanol verimi, üretim miktarları, hammadde maliyeti, depolanabilme kabiliyetleri, yan ürün değerleri, tesisin enerji tüketimi ve hammaddelerin arz talep durumu kriterlerine göre değerlendirilmeleri verilmiştir.

NREL - National Renewable Energy Laboratory (2002) tarafından yapılan bir çalışmada hammadde seçimi için göz önüne alınan şu kriterler sıralanmıştır: hammaddenin üretim miktarları, hammadde maliyeti (taşıma maliyeti de dahil), hammaddenin biyoetanol verimi, yan ürün olanakları, hammaddenin diğer kullanım alanları ve çiftçinin eğitimi.

Salter (2006) ise hammaddenin çevresel etkisi, biyoetanol verimi, hammadde yetiştirilmesi için harcanan girdi enerji, toprağın kullanılma durumu ve hammaddenin diğer kullanım alanları kriterlerini kullanmıştır.

Rice (1999) hammadde değerlendirmesi için ekim alanlarından, üretim miktarlarından, hektar başına verimden, biyoetanol veriminden, hammadde maliyetlerinden, yan ürün değerlerinden,

hammadde işleme maliyetlerinden ve taşıma maliyetlerinden bahsetmiştir.

Birçok karar verme ve problem çözme işinin sayısal olarak anlaşılması zordur, insanlar genellikle kesin olmayan bilgilerine dayanarak sonuca giderler (Kahraman vd., 2004). 1965 yılında L.A. Zadeh (1965) tarafından temelleri atılan bulanık küme kuramı, gerçek dünyanın matematikle ifade edilmesini kolaylaştırmıştır. Böylece klasik matematiğin yarattığı kesin sınırların aşılması, belirsizliğin karar süreçlerinde yer almasını sağlamıştır (Paksoy ve Atak, 2003). Bulanık kümelerin kullanılması ile kesinlik ifade edemeyen bilginin ortaya konulabilmesi birçok mühendislik ve karar problemlerini basitleştirmiştir. Bulanık küme kuramı sınırları kesin olarak belirlenmemiş veri sınıflarını veya gruplarını kullanır. Klasik küme kuramı, aritmetik veya programlama gibi kesin tanımlamaları kullanan herhangi bir metodoloji veya kuram bulanıklaştırılarak bulanık küme kuramına uyarlanabilir (Kahraman vd., 2004).

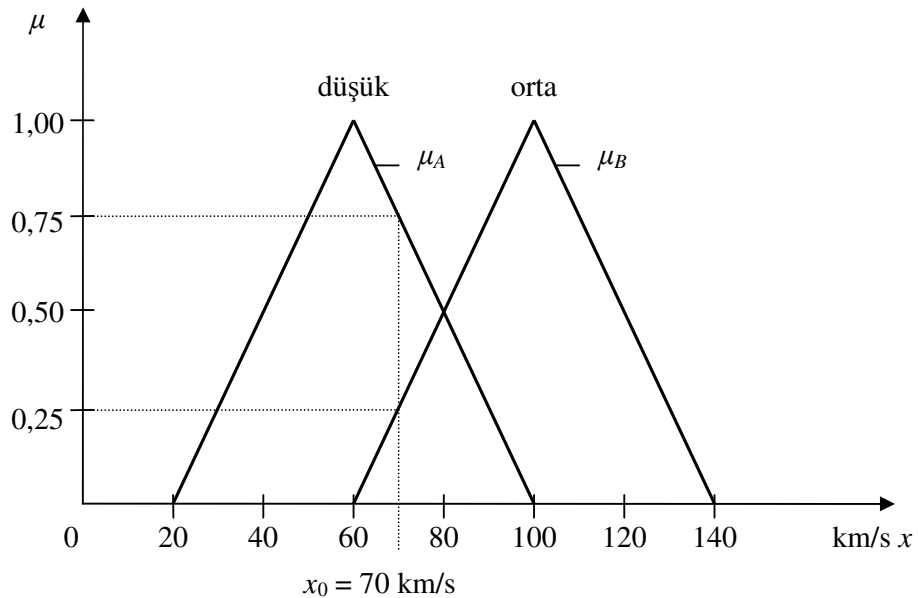
1970’lerde T.L. Saaty tarafından geliştirilen AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi), birden çok kriter içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir. AHP, karar vericilerin karmaşık problemleri; problemin ana hedefi, kriterleri, alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak verir. AHP, karar hiyerarşisinin tanımlanabilmesi durumunda kullanılan, kararı etkileyen faktörler açısından karar noktalarının yüzde dağılımlarını veren bir karar verme ve tahminleme yöntemi olarak açıklanabilir. AHP, bir karar hiyerarşisi üzerinde, önceden tanımlanmış bir karşılaştırma skalası kullanılarak gerek kararı etkileyen faktörler ve gerekse bu faktörler açısından karar noktalarının önem değerleri açısından, birebir karşılaştırmalara dayanmaktadır (Atan vd., 2004). Bu yöntemin başlıca avantajı çoklu kriterleri değerlendirmesindeki kolaylığıdır. Bunun yanında AHP’nin anlaşılması kolaydır, nitel ve nicel verileri birlikte ele alabilmektedir. Ancak AHP insani düşünme tarzını yansıtamamaktadır (Kahraman vd., 2004). Bazı değerlendirme kriterleri öznel veya nitel olabilir, dolayısı ile karar verici için bu kriterlere kesin sayısal değerler vermesini ve ikili karşılaştırmalar yapmasını istemek zordur (Chan ve Kumar, 2004). Bu yüzden, bulanık AHP, hiyerarşik bulanık problemleri çözmek için geliştirilmiştir.

Bulanık AHP sürecinde karar matrisindeki ikili karşılaştırmalar bulanık sayılar ile yapılmaktadır ve bu sayılar matrisi hazırlayan kişi tarafından belirlenir. Bulanık AHP sürecinde her bir özelliğin puanlamasında kullanılacak ağırlık vektörleri belirlenir. Sürecin sonunda ise bu ağırlıklar ile belirlenen genel bir ağırlıklandırma yapılarak sonuca ulaşılır.

Bu bölümde hammaddelerin karşılaştırılmasında kullanılacak bulanık AHP yönteminde bulanık sayılar ve işlemler kullanılacağından ilk olarak bulanık küme ve bulanık sayı kavramı ortaya konulacaktır. Daha sonra bulanık AHP hesaplamalarından bahsedilecek ve son olarak da beş hammadde için bulanık AHP kullanılarak karşılaştırma yapılacaktır.

4.1 Bulanık Kümeler ve Bulanık Sayılar

Bulanık küme kavramı, klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin gerçek dünyadaki pek çok sistemle özellikle insanları içeren kısmen karmaşık sistemlerle uğraşırken yetersiz kalmasından dolayı bir arayış olarak doğmuştur. İkili mantığın (ya da sonlu değerli mantıkların) aksine, önermelerin doğruluk değeri sadece iki seçenekten (ya da sonlu değerlerden) biri olmak zorunda değildir. İkili mantıkta bir önermenin doğruluk değeri $[0, 1]$ kümesindendir. “0” yanlış ve “1” doğruyu temsil etmektedir. Bulanık mantıkta ise önermelerin doğruluk değeri, $[0, 1] \subset \mathbb{R}$ kümesinden seçilir. Diğer bir deyişle, 0,4 gibi ara değerlerde doğruluk değerine sahip önermeler mümkün kılınır. Aynı düşünce küme-eleman ilişkisine de uygulanabilir. Klasik küme kuramında bir eleman ve küme arasındaki üyelik için iki farklı ilişki mümkündür. Bir eleman bir kümeye ya üyedir, ya da değildir. Bulanık küme kuramı ise, bir elemanın kümeye üyeliğini derecelendirir. Küme üyelik derecesi üçgen, yamuk, çan eğrisi (Gauss) gibi standart fonksiyonlarla tanımlanabildiği gibi farklı fonksiyonlar da oluşturulabilir.



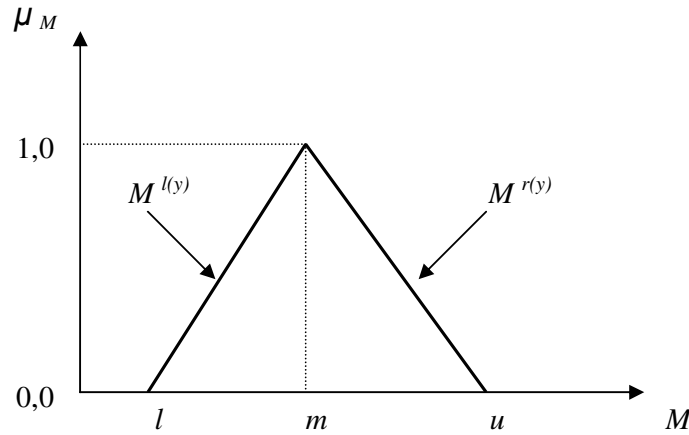
Şekil 4.1 Örnek bir üyelik derecelendirilmesi

Bulanık küme kuramı belirsizlik durumlarındaki avantajlı konumunu kanıtlamıştır ve karar vermede yaklaşık değerleri temel olarak kullanan insani düşünce yapısına benzemektedir (Chan ve Kumar, 2004).

Şekil 4.1’de örnek bir üyelik derecelendirilmesi görülmektedir. Bu örnekte 70 km/s hızındaki bir aracın üyelik derecelendirmesi için “düşük hız” ve “orta hız” bulanık kümesini temsil eden μ_A ve μ_B üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Verilen $x_0 = 70$ km/s hız değeri, $\mu_A(x_0) = 0,75$ derecesinde “düşük hız” bulanık kümesine aittir ve $\mu_B(x_0) = 0,25$ derecesinde “orta hız” bulanık kümesine aittir.

Bulanık kümelerin kullanışlılığı, farklı kavramlara uygun üyelik derecesi fonksiyonlarını oluşturabilme becerisine dayanmaktadır. Kolaylığı açısından en çok kullanılan fonksiyonlardan birisi üçgen üyelik fonksiyonudur (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003). Bu çalışmada üçgen bulanık sayı (triangular fuzzy number - TFN) kullanılacaktır.

Bir TFN (l, m, u) veya (l, m, u) şeklinde gösterilir (Kahraman vd., 2004). Bir bulanık olayda l , m ve u parametreleri sırasıyla, en küçük muhtemel değeri, en beklenen değeri ve en büyük muhtemel değeri temsil eder. Bir üçgen bulanık sayı (TFN), M , Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2 Bir üçgen bulanık sayı, M (Kahraman vd., 2004)

Her üçgen bulanık sayının lineer gösterimleri sol ve sağ taraf şeklinde aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilir (Kahraman vd., 2004):

$$\mu(x|M) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ (x - l)/(m - l), & l \leq x \leq m, \\ (u - x)/(u - m), & m \leq x \leq u, \\ 0, & x > u. \end{cases} \quad (4.1)$$

Bir bulanık sayı her bir üyelik derecesinin sağ ve sol ifadeleri ile verilir (Kahraman vd., 2004):

$$M = (M^{l(y)}, M^{r(y)}) = (l + (m - l)y, u + (m - u)y), \quad y \in [0, 1]. \quad (4.2)$$

Bu ifadede $l(y)$ ve $r(y)$ bulanık sayının sol ve sağ taraf ifadesini göstermektedir.

$M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ gibi iki bulanık sayı göz önüne alındığında toplama, çarpma ve tersini alma gibi işlemler şu şekilde yapılır:

Toplama İşlemi

$$M_1 \oplus M_2 = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$$

Çarpma İşlemi

$$M_1 \otimes M_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2)$$

Tersini Alma İşlemi

$$M_1^{-1} = (l_1, m_1, u_1)^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1}\right)$$

1980'den sonra bulanık sistemin; elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri, asansörler, metro ve şirket işletimi gibi konularda kullanılmasında büyük bir artış olmuştur. Son yıllarda bir çok mühendislik dallarında, veri tabanlarının sözelleştirilmesinde, telesekreterlerin cevaplamasında ve bir çok konuda bulanık mantık bütün dünyada kullanılır hale gelmiştir. Uzay araştırmaları ve havacılık endüstrisinde de kullanılmakta ve TAI (Turkish Aerospace Industries)'de araştırma geliştirme kısmında bulanık mantık konusunda çalışmalar yapılmaktadır (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003).

4.2 Bulanık AHP ile Biyoetanol Üretimi İçin En Uygun Hammadde Seçimi

Çeşitli yazarlar tarafından ortaya konulan bir çok bulanık AHP metodu vardır. Bu metotlar, bulanık küme kuramını ve hiyerarşik yapı analizini kullanan problem çözme ve alternatif seçimine sistematik yaklaşımlardır. Genel olarak karar vericiler, aralıklı karar vermeyi sabit değerli karar vermeye göre daha rahat bulmaktadır. Çünkü karşılaştırma sürecinin bulanık doğasında kendi tercihleri konusunda bir kesinlik yoktur (Kahraman vd., 2004).

İlk bulanık AHP çalışması, üçgen üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmış bulanık oranları karşılaştıran Laarhoven ve Pedrycz (1983) ile görülmüştür. Buckley (1985), karşılaştırma oranlarının bulanık önceliklerini yamuk üyelik fonksiyonu ile belirlemiştir. Chang (1996) ise karşılaştırmalarda üçgen bulanık sayıları kullanarak bulanık AHP'nin kullanımı için yeni bir yaklaşım tanıtmıştır (Kahraman vd., 2004). Bu çalışmada Chang'ın modeli esas alınarak üçgen bulanık sayı (triangular fuzzy number - TFN) kullanılacaktır.

4.2.1 Bulanık AHP Algoritması

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ bir nesneler seti ve $U = \{g_1, g_2, \dots, g_m\}$ de bir amaçlar seti olsun. Chang'ın büyüklük analizine göre, her nesne alınır ve her amaç, g_i , için büyüklük analizi ayrı ayrı uygulanır. Bu yüzden, m adet büyüklük analizi değeri her nesne için aşağıdaki gibi elde edilebilir (Kahraman vd., 2004):

$$M^1_{gi}, M^2_{gi}, \dots, M^m_{gi}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4.3)$$

Burada tüm M^j_{gi} 'ler, ($j = 1, 2, \dots, m$), üçgen bulanık sayılardır.

Chang'ın büyüklük analizinin adımları aşağıdaki gibi verilebilir (Kahraman vd., 2004):

Adım 1:

i . nesne için bulanık büyüklük değeri şu şekilde tanımlanır:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M^j_{gi} \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M^j_{gi} \right]^{-1} \quad (4.4)$$

$\sum_{j=1}^m M^j_{gi}$ 'i elde etmek için, m adet büyüklük analizi değerinin bulanık toplam işlemi aşağıdaki gibi bir matris ile uygulanır:

$$\sum_{j=1}^m M^j_{gi} = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (4.5)$$

ve $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1}$ 'i elde etmek için $M_{g_i}^j$ ($j = 1, 2, \dots, m$) değerlerinin bulanık toplam işlemi şu şekilde uygulanır:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (4.6)$$

ve daha sonra (4.6) denklemindeki vektörün tersi şöyle hesaplanır:

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right). \quad (4.7)$$

Adım 2:

$M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ olayının olabilirlik derecesi

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup_{y \geq x} [\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (4.8)$$

şeklinde tanımlanır ve aşağıdaki gibi açıklanabilir:

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \text{ ise,} \\ 0, & l_1 \geq u_2 \text{ ise,} \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{aksi halde.} \end{cases} \quad (4.9)$$

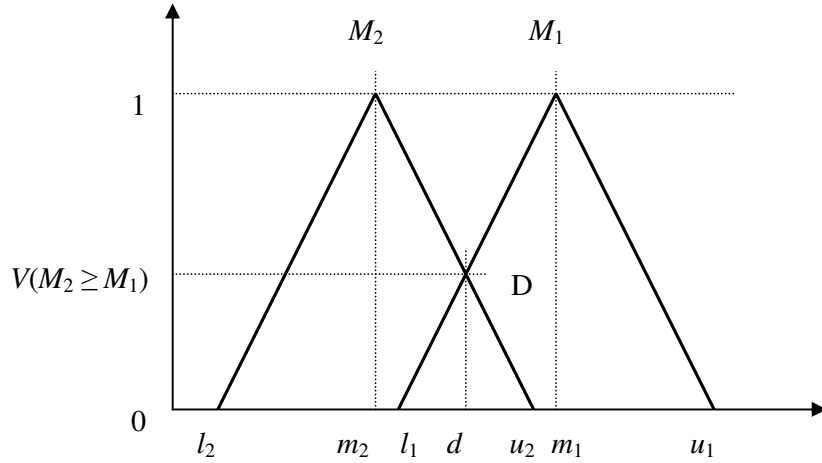
Şekil 4.3'ten de görüldüğü gibi burada d , M_1 ve M_2 arasındaki en yüksek D kesişim noktasının apsisi.

M_1 ve M_2 'yi karşılaştırmak için $V(M_1 \geq M_2)$ ve $V(M_2 \geq M_1)$ değerlerinin her ikisine de ihtiyaç duyulur.

Adım 3:

Konveks bir bulanık sayının k adet bulanık sayıdan, M_i ($i = 1, 2, \dots, k$), daha büyük olabilirlik derecesi şöyle tanımlanır:

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ ve } V(M \geq M_2) \text{ ve } \dots \text{ ve } V(M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, k. \end{aligned} \quad (4.10)$$



Şekil 4.3 M_1 ve M_2 'nin kesişimi

Daha sonra (4.4)'teki S_i için şu varsayım yapılabilir: $k = 1, 2, \dots, n$; $k \neq i$ için,

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k). \quad (4.11)$$

Ağırlık vektörü, $A_i (1, 2, \dots, n)$ 'nin n elemandan oluştuğu;

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (4.12)$$

şekli ile ortaya konulur.

Adım 4:

Normalizasyon ile normalize edilmiş vektör;

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (4.13)$$

ifadesi ile gösterilir. Burada W , bulanık bir sayı değildir.

4.2.2 Hammadde Seçimi

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de biyoetanol üretimi için en uygun hammadde türünün seçilmesidir. Çalışmada biyoetanol üretimi için hammadde seçimini etkileyebilecek en önemli kriterler göz önüne alınmaya çalışılmıştır. Uzmanlık alanı biyoyakıtlar olan, bu alanda çalışmaları bulunan veya ilgi alanı içerisinde biyoyakıtlar konusu bulunan üniversite öğretim üyelerinden ve Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. çalışanlarından oluşan bir karar verici grup oluşturulmuştur. Alternatif beş hammadde arasından en uygun olanını seçmek için

karşılaştırma yapılmıştır. Karar vericilere biyoetanol üretimi için hammadde seçimini etkileyebilecek belli bazı kriterler sunulmuştur, görüşleri alınmıştır, bu kriterlerin eksik yönlerinin ve eklenebilecek başka kriterler olup olmadığı sorulmuştur. Bu görüşmeler sonucu üç ana kriter belirlenmiştir. Bunlar; Tarımsal Özellikler (TÖ), Biyoetanol Özellikleri (BÖ) ve Mali Özellikler (MÖ) kriterleridir. Belirlenen alt kriterler ise; Türkiye’deki Üretim Miktarları (TÜM), Depolanabilme Süreleri (DS), Hektar Başına Verim (HBV), Girdi Enerji (GE), Biyoetanol Verimi (BV), Yan Ürünler (YÜ), Biyoetanol Üretiminde Tecrübe ve İşleme Özelliği (BÜTİÖ), Hammadde Fiyatı (HF), Enerji Tüketimi (ET), Arz Talep Durumu (ATD) kriterleridir. Alternatif hammaddeler ise Şeker Pancarı (ŞP), Buğday (B), Patates (P), Arpa (A) ve Mısır (M)’dır. Kriterler ve alternatifler bir hiyerarşi olarak Şekil 4.4’te verilmiştir. Daha sonra bir anket aracılığı ile karar vericilerden bu kriterler yardımı ile beş hammaddenin karşılaştırılması istenmiştir. Anket formu Ekler bölümündedir.

Anket formunda ana ve alt kriterlerin anlamları karar vericilere açıklanmıştır, böylelikle her bir karar vericinin kriterlerden aynı anlamı çıkarması sağlanmıştır. Ana kriterler ve bunların alt kriterlerinin açıklamaları şöyledir:

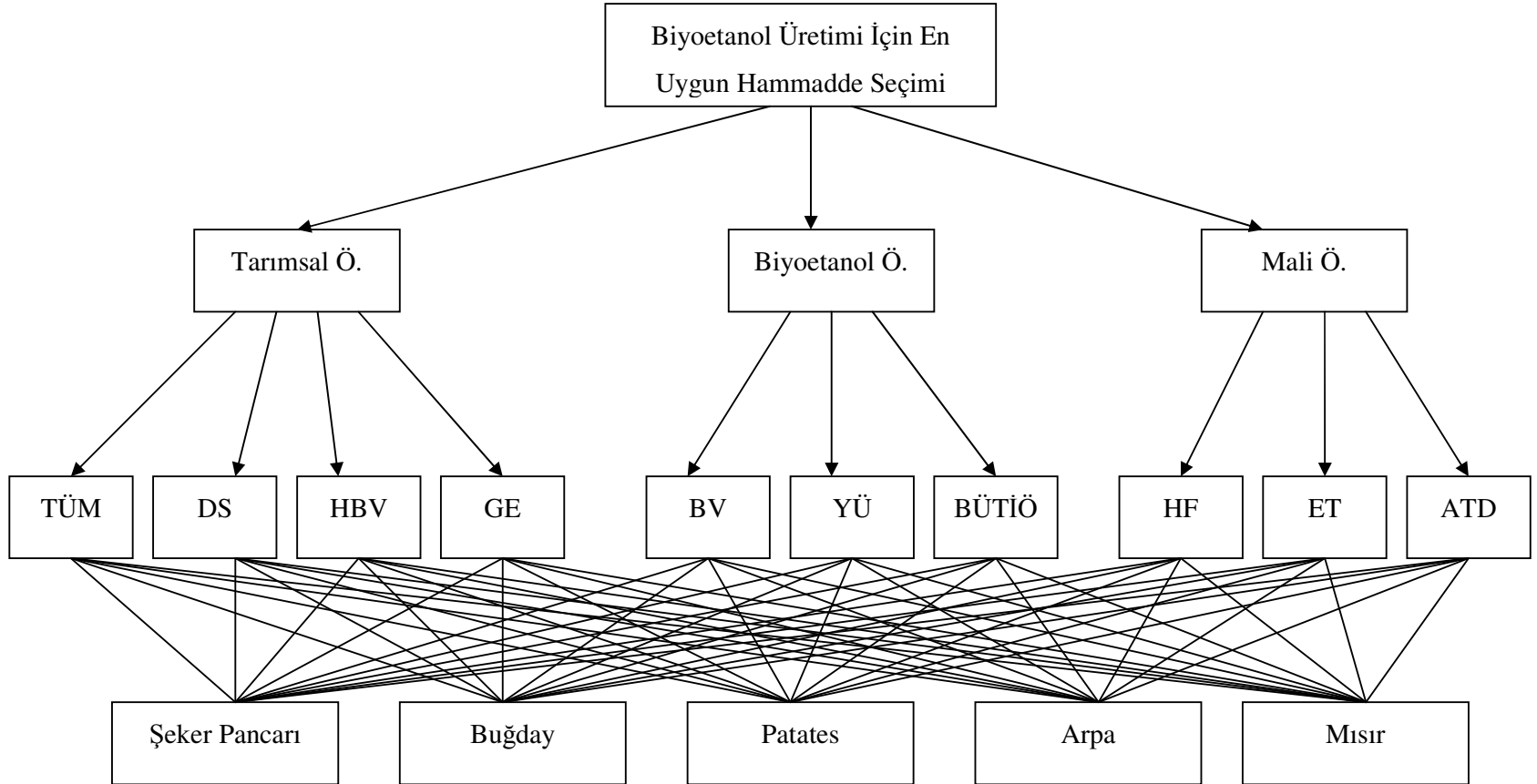
Tarımsal Özellikler (TÖ) Ana Kriteri

Tarımsal Özellikler kriteri hammaddenin biyoetanol üretim tesisinde işleme tabi tutulmadan önceki süreçlerde göz önüne alınan değerlendirme kriterlerini kapsamaktadır.

- Türkiye’deki Üretim Miktarları (TÜM) alt kriteri: Hammaddenin ton olarak Türkiye’deki yıllık üretim miktarını ifade etmektedir.
- Depolanabilme Süreleri (DS) alt kriteri: Hammaddenin hasat sonrası durumundan biyoetanol üretimi aşamasına gelene kadar depolanabilme süresini ifade etmektedir.
- Hektar Başına Verim (HBV) alt kriteri: Ekilen her bir hektardan elde edilen hammadde miktarı ifade etmektedir.
- Girdi Enerji (GE) alt kriteri: Literatürde bu enerji miktarı hesaplamasında hammaddenin yetiştirilmesi sürecinde harcanan yakıt, makine-malzeme ekipmanları, gübreleme, bitki ve böcek ilaçları, işgücü ve tarladaki taşımalar göz önüne alınmıştır. Bu çalışmada da Girdi Enerji’nin bu anlamı ile ele alınması istenmiştir.

Biyoetanol Özellikleri (BÖ) Ana Kriteri

Biyoetanol Özellikleri kriteri hammaddenin biyoetanol üretimi sürecindeki değerlendirme kriterlerini kapsamaktadır.



Şekil 4.4 En uygun hammadde seçimi için oluşturulan hiyerarşi

- Biyoetanol Verimi (BV) alt kriteri: Bir ton hammaddeden kaç litre biyoetanol elde edilebildiğini ifade etmektedir.
- Yan Ürünler (YÜ) alt kriteri: Hammaddenin biyoetanol üretimi için kullanılması sonucu elde edilen artık üründen ne kadar hayvan yemi üretilebileceğini, bunun protein değerini ifade etmektedir.
- Biyoetanol Üretiminde Tecrübe ve İşleme Özelliği (BÜTiÖ) alt kriteri: Dünya üzerinde bahsi geçen hammaddeden biyoetanol üretimi örneklerini ve biyoetanol üretimi sürecinde hammadde işleme özelliklerini ifade etmektedir.

Mali Özellikler (MÖ) Ana Kriteri

Mali Özellikler kriteri hammaddenin maliyet, arz-talep gibi açılardan değerlendirilmesini ifade etmektedir.

- Hammadde Fiyatı (HF) alt kriteri: Biyoetanol üretiminde kullanılacak 1 kg hammaddenin fiyatını ifade etmektedir.
- Enerji Tüketimi (ET) alt kriteri: Literatürde geçen, ürünün işlenmesi sonucu her 1 litre biyoetanol için yaklaşık olarak elektrik ve doğal gaz enerjisi tüketimini ifade etmektedir.
- Arz Talep Durumu (ATD) alt kriteri: Biyoetanol üretiminde kullanılacak hammaddenin Türkiye'deki üretim ve tüketim değerlerinin birbirini karşılayabilme derecesini ifade etmektedir.

Anket formlarından elde edilen sonuçlar daha sonra bulanık tercih sayılarına dönüştürülmüştür ve bunların geometrik ortalaması alınarak ortalama değerler elde edilmiştir. Anket tablolarında yer alan sağ taraftaki bir işaret, karşılaştırılması yapılan özelliklerden sağ taraftakinin sol taraftakine göre o derecede üstün olduğu anlamına gelmektedir. Aynı şekilde anket tablolarında yer alan sol taraftaki bir işaret, karşılaştırılması yapılan özelliklerden sol taraftakinin sağ taraftakine göre o derecede üstün olduğu anlamına gelmektedir. Orta sütunda yer alan işaret ise karşılaştırılması yapılan özelliklerin birbirlerine göre eşit derecede öneme sahip olduklarını anlatmaktadır. Anketteki derecelerin bulanık üçgen sayı karşılıkları şöyledir:

- Kesin: (7/2, 4, 9/2)
- Çok Güçlü: (5/2, 3, 7/2)
- Biraz Güçlü: (3/2, 2, 5/2)
- Zayıf: (2/3, 1, 3/2)
- Eşit: (1, 1, 1)

Karşılaştırmalar ve ağırlıkların belirlenmesi şu şekilde yapılmıştır:

- Amacımıza yönelik olarak üç ana kriterin değerlendirilmesi,
- Her ana kriter için kendi alt kriterlerinin değerlendirilmesi,
- Tüm alt kriterler için alternatiflerin değerlendirilmesi.

4.2.2.1 Kriterlerin ve Kriterler İçin Hammaddelerin Değerlendirilmesi

Anket formlarından elde edilen değerlendirmeler aracılığı ile oluşturulan değerlendirme matrisleri ve bunlara göre hazırlanmış sonuçlar aşağıda görülmektedir.

Çizelge 4.1 Ana kriterlerin birbirlerine göre değerlendirilmesi

	TÖ	BÖ	MÖ
TÖ	(1, 1, 1)	(2.16, 2.67, 3.18)	(0.75, 1.10, 1.61)
BÖ	(0.31, 0.37, 0.46)	(1, 1, 1)	(0.79, 1.06, 1.42)
MÖ	(0.62, 0.91, 1.33)	(0.70, 0.94, 1.27)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.1'den;

$$S_{TÖ} = (3.9100, 4.7700, 5.7900) \otimes (0.0815, 0.0994, 0.1199) = (0.3186, 0.4743, 0.6943),$$

$$S_{BÖ} = (2.1045, 2.4345, 2.8830) \otimes (0.0815, 0.0994, 0.1199) = (0.1715, 0.2421, 0.3457),$$

$S_{MÖ} = (2.3253, 2.8525, 3.5992) \otimes (0.0815, 0.0994, 0.1199) = (0.1895, 0.2836, 0.4316)$ elde edilir. Bu vektörleri kullanarak;

$$V(S_{TÖ} \geq S_{BÖ}) = 1.0000, V(S_{TÖ} \geq S_{MÖ}) = 1.0000,$$

$$V(S_{BÖ} \geq S_{TÖ}) = 0.1044, V(S_{BÖ} \geq S_{MÖ}) = 0.7899,$$

$V(S_{MÖ} \geq S_{TÖ}) = 0.3720, V(S_{MÖ} \geq S_{BÖ}) = 1.0000$ bulunur. Denklem (4.11)'in yardımı ile minimum olabilirlik dereceleri;

$$d'(A_{TÖ}) = \min V(S_{TÖ} \geq S_{BÖ}, S_{MÖ}) = \min (1.0000, 1.0000) = 1.0000,$$

$$d'(A_{BÖ}) = \min V(S_{BÖ} \geq S_{TÖ}, S_{MÖ}) = \min (0.1044, 0.7899) = 0.1044,$$

$d'(A_{MÖ}) = \min V(S_{MÖ} \geq S_{TÖ}, S_{BÖ}) = \min (0.3720, 1.0000) = 0.3720$ 'dir. Bu sayede ağırlık vektörü $W'_A = (1.0000, 0.1044, 0.3720)^T$ elde edilir. Normalizasyon ile ana kriterler için ağırlık vektörü $W_A = (0.68, 0.07, 0.25)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.2 Tarımsal özellikler alt kriterlerinin değerlendirilmesi

	TÜM	DS	HBV	GE
TÜM	(1, 1, 1)	(0.46, 0.61, 0.84)	(0.62, 0.91, 1.34)	(0.47, 0.64, 0.88)
DS	(1.19, 1.64, 2.17)	(1, 1, 1)	(1.46, 2.03, 2.56)	(0.46, 0.61, 0.84)
HBV	(0.75, 1.10, 1.61)	(0.39, 0.49, 0.68)	(1, 1, 1)	(0.89, 1, 1.12)
GE	(1.14, 1.56, 2.13)	(1.19, 1.64, 2.17)	(0.89, 1, 1.12)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.2’den;

$$S_{TÜM} = (2.5500, 3.1600, 4.0600) \otimes (0.0466, 0.0580, 0.0719) = (0.1187, 0.1834, 0.2919),$$

$$S_{DS} = (4.1105, 5.2793, 6.5739) \otimes (0.0466, 0.0580, 0.0719) = (0.1914, 0.3064, 0.4727),$$

$$S_{HBV} = (3.0269, 3.5915, 4.4178) \otimes (0.0466, 0.0580, 0.0719) = (0.1409, 0.2084, 0.3177),$$

$S_{GE} = (4.2197, 5.2018, 6.4252) \otimes (0.0466, 0.0580, 0.0719) = (0.1965, 0.3019, 0.4620)$ elde edilir. Bu vektörleri kullanarak;

$$V(S_{TÜM} \geq S_{DS}) = 0.4498, V(S_{TÜM} \geq S_{HBV}) = 0.8578, V(S_{TÜM} \geq S_{GE}) = 0.4462,$$

$$V(S_{DS} \geq S_{TÜM}) = 1.0000, V(S_{DS} \geq S_{HBV}) = 1.0000, V(S_{DS} \geq S_{GE}) = 1.0000,$$

$$V(S_{HBV} \geq S_{TÜM}) = 1.0000, V(S_{HBV} \geq S_{DS}) = 0.5632, V(S_{HBV} \geq S_{GE}) = 0.5646,$$

$V(S_{GE} \geq S_{TÜM}) = 1.0000, V(S_{GE} \geq S_{DS}) = 0.9800, V(S_{GE} \geq S_{HBV}) = 1.0000$ bulunur. Bu sayede Çizelge 4.2’den ağırlık vektörü $W_{TÖ} = (0.15, 0.33, 0.19, 0.33)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.3 Biyoetanol özellikleri alt kriterlerinin değerlendirilmesi

	BV	YÜ	BÜTiÖ
BV	(1, 1, 1)	(1.92, 2.19, 2.45)	(0.89, 1.22, 1.64)
YÜ	(0.41, 0.46, 0.52)	(1, 1, 1)	(0.54, 0.74, 1.06)
BÜTiÖ	(0.61, 0.82, 1.12)	(0.94, 1.35, 1.85)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.3'ten;

$$S_{BV} = (3.8100, 4.4100, 5.0900) \otimes (0.0859, 0.1023, 0.1203) = (0.3271, 0.4510, 0.6124),$$

$$S_{YÜ} = (1.9482, 2.1966, 2.5808) \otimes (0.0859, 0.1023, 0.1203) = (0.1673, 0.2247, 0.3105),$$

$S_{BÜTİÖ} = (2.5532, 3.1710, 3.9754) \otimes (0.0859, 0.1023, 0.1203) = (0.2192, 0.3243, 0.4783)$ elde edilir. Bu vektörleri kullanarak;

$$V(S_{BV} \geq S_{YÜ}) = 1.0000, V(S_{BV} \geq S_{BÜTİÖ}) = 1.0000,$$

$$V(S_{YÜ} \geq S_{BV}) = 0.0000, V(S_{YÜ} \geq S_{BÜTİÖ}) = 0.4781,$$

$V(S_{BÜTİÖ} \geq S_{BV}) = 0.5440, V(S_{BÜTİÖ} \geq S_{YÜ}) = 1.0000$ bulunur. Bu sayede Çizelge 4.3'ten ağırlık vektörü $W_{BÖ} = (0.65, 0.00, 0.35)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.4 Mali özellikler alt kriterlerinin değerlendirilmesi

	HF	ET	ATD
HF	(1, 1, 1)	(1.34, 1.64, 1.92)	(0.75, 1, 1.34)
ET	(0.52, 0.61, 0.75)	(1, 1, 1)	(0.94, 1.22, 1.55)
ATD	(0.75, 1, 1.33)	(0.65, 0.82, 1.06)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.4'ten;

$$S_{HF} = (3.0900, 3.6400, 4.2600) \otimes (0.0913, 0.1076, 0.1259) = (0.2821, 0.3918, 0.5364),$$

$$S_{ET} = (2.4608, 2.8298, 3.2963) \otimes (0.0913, 0.1076, 0.1259) = (0.2247, 0.3046, 0.4150),$$

$S_{ATD} = (2.3914, 2.8197, 3.3972) \otimes (0.0913, 0.1076, 0.1259) = (0.2183, 0.3035, 0.4277)$ elde edilir. Bu vektörleri kullanarak;

$$V(S_{HF} \geq S_{ET}) = 1.0000, V(S_{HF} \geq S_{ATD}) = 1.0000,$$

$$V(S_{ET} \geq S_{HF}) = 0.6038, V(S_{ET} \geq S_{ATD}) = 1.0000,$$

$V(S_{ATD} \geq S_{HF}) = 0.6225, V(S_{ATD} \geq S_{ET}) = 0.9947$ bulunur. Bu sayede Çizelge 4.4'ten ağırlık vektörü $W_{MÖ} = (0.45, 0.27, 0.28)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.5 Türkiye’deki üretim miktarları açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

	ŞP	B	P	A	M
ŞP	(1, 1, 1)	(0.46, 0.51, 0.68)	(2.75, 3.26, 3.76)	(1.74, 2.25, 2.75)	(2.62, 3.13, 3.63)
B	(1.47, 1.96, 2.17)	(1, 1, 1)	(3.18, 3.68, 4.19)	(2.38, 2.90, 3.42)	(3.18, 3.68, 4.19)
P	(0.27, 0.31, 0.36)	(0.24, 0.27, 0.31)	(1, 1, 1)	(0.84, 1.22, 1.74)	(1.19, 1.49, 1.79)
A	(0.36, 0.44, 0.57)	(0.29, 0.34, 0.42)	(0.57, 0.82, 1.19)	(1, 1, 1)	(1.74, 2.25, 2.75)
M	(0.28, 0.32, 0.38)	(0.24, 0.27, 0.31)	(0.56, 0.67, 0.84)	(0.36, 0.44, 0.57)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.5’ten;

$$S_{\text{ŞP}} = (8.5700, 10.1500, 11.8200) \otimes (0.0244, 0.0284, 0.0336) = (0.2088, 0.2881, 0.3977),$$

$$S_{\text{B}} = (11.2106, 13.2208, 14.9739) \otimes (0.0244, 0.0284, 0.0336) = (0.2731, 0.3753, 0.5038),$$

$$S_{\text{P}} = (3.5346, 4.2885, 5.2081) \otimes (0.0244, 0.0284, 0.0336) = (0.0861, 0.1217, 0.1752),$$

$$S_{\text{A}} = (3.9707, 4.8589, 5.9354) \otimes (0.0244, 0.0284, 0.0336) = (0.0967, 0.1379, 0.1997),$$

$S_{\text{M}} = (2.4364, 2.7068, 3.1112) \otimes (0.0244, 0.0284, 0.0336) = (0.0594, 0.0768, 0.1047)$ elde edilir. Bu vektörleri kullanarak;

$$V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{B}}) = 0.5883, V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{A}}) = 1.0000, V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{M}}) = 1.0000,$$

$$V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 1.0000, V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{A}}) = 1.0000, V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{M}}) = 1.0000,$$

$$V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 0.0000, V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{B}}) = 0.0000, V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{A}}) = 0.8290, V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{M}}) = 1.0000,$$

$$V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 0.0000, V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{B}}) = 0.0000, V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{M}}) = 1.0000,$$

$$V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 0.0000, V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{B}}) = 0.0000, V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{P}}) = 0.2925, V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{A}}) = 0.1150$$

bulunur.

Ağırlık vektörü $W_{\text{TÜM}} = (0.37, 0.63, 0.00, 0.00, 0.00)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.6 Depolanabilme süreleri açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

	ŞP	B	P	A	M
ŞP	(1, 1, 1)	(0.31, 0.37, 0.46)	(0.89, 1, 1.12)	(0.46, 0.61, 0.84)	(0.46, 0.62, 0.85)
B	(2.17, 2.70, 3.23)	(1, 1, 1)	(2.62, 3.13, 3.63)	(0.89, 1, 1.12)	(0.94, 1.35, 1.88)
P	(0.89, 1, 1.12)	(0.28, 0.32, 0.38)	(1, 1, 1)	(0.46, 0.61, 0.84)	(0.50, 0.64, 0.83)
A	(1.19, 1.64, 2.17)	(0.89, 1, 1.12)	(1.19, 1.64, 2.17)	(1, 1, 1)	(1.44, 1.92, 2.44)
M	(1.18, 1.61, 2.17)	(0.53, 0.74, 1.06)	(1.20, 1.56, 2.00)	(0.41, 0.52, 0.69)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.6'dan;

$$S_{ŞP} = (3.1200, 3.6000, 4.2700) \otimes (0.0285, 0.0345, 0.0418) = (0.0888, 0.1242, 0.1786),$$

$$S_B = (7.6239, 9.1827, 10.8558) \otimes (0.0285, 0.0345, 0.0418) = (0.2169, 0.3168, 0.4540),$$

$$S_P = (3.1283, 3.5695, 4.1753) \otimes (0.0285, 0.0345, 0.0418) = (0.0890, 0.1231, 0.1746),$$

$$S_A = (5.7138, 7.1987, 8.9114) \otimes (0.0285, 0.0345, 0.0418) = (0.1626, 0.2483, 0.3727),$$

$$S_M = (4.3230, 5.4370, 6.9322) \otimes (0.0285, 0.0345, 0.0418) = (0.1230, 0.1876, 0.2899) \text{ elde edilir. Bu vektörleri kullanarak;}$$

$$V(S_{ŞP} \geq S_B) = 0.0000, V(S_{ŞP} \geq S_P) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_A) = 0.1143, V(S_{ŞP} \geq S_M) = 0.4673,$$

$$V(S_B \geq S_{ŞP}) = 1.0000, V(S_B \geq S_P) = 1.0000, V(S_B \geq S_A) = 1.0000, V(S_B \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_P \geq S_{ŞP}) = 0.9879, V(S_P \geq S_B) = 0.0000, V(S_P \geq S_A) = 0.0878, V(S_P \geq S_M) = 0.4449,$$

$$V(S_A \geq S_{ŞP}) = 1.0000, V(S_A \geq S_B) = 0.6948, V(S_A \geq S_P) = 1.0000, V(S_A \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_M \geq S_{ŞP}) = 1.0000, V(S_M \geq S_B) = 0.3610, V(S_M \geq S_P) = 1.0000, V(S_M \geq S_A) = 0.6770 \text{ bulunur.}$$

Ağırlık vektörü $W_{DS} = (0.00, 0.49, 0.00, 0.33, 0.18)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.7 Hektar başına verim açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

	ŞP	B	P	A	M
ŞP	(1, 1, 1)	(3.18, 3.68, 4.19)	(1.34, 1.64, 1.92)	(3.18, 3.68, 4.19)	(1.19, 1.64, 2.16)
B	(0.24, 0.27, 0.31)	(1, 1, 1)	(0.50, 0.67, 0.94)	(1.12, 1.22, 1.30)	(0.58, 0.82, 1.19)
P	(0.52, 0.61, 0.75)	(1.06, 1.49, 2.00)	(1, 1, 1)	(1.48, 1.95, 2.50)	(0.97, 1.37, 1.91)
A	(0.24, 0.27, 0.31)	(0.77, 0.82, 0.89)	(0.40, 0.51, 0.68)	(1, 1, 1)	(0.42, 0.58, 0.73)
M	(0.46, 0.61, 0.84)	(0.84, 1.22, 1.72)	(0.52, 0.73, 1.03)	(1.37, 1.72, 2.38)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.7'den;

$$S_{ŞP} = (9.8900, 11.6400, 13.4600) \otimes (0.0271, 0.0328, 0.0394) = (0.2677, 0.3815, 0.5302),$$

$$S_B = (3.4387, 3.9817, 4.7445) \otimes (0.0271, 0.0328, 0.0394) = (0.0931, 0.1305, 0.1869),$$

$$S_P = (5.0347, 6.4223, 8.1563) \otimes (0.0271, 0.0328, 0.0394) = (0.1363, 0.2105, 0.3213),$$

$$S_A = (2.8279, 3.1842, 3.6130) \otimes (0.0271, 0.0328, 0.0394) = (0.0765, 0.1044, 0.1423),$$

$S_M = (4.1967, 5.2833, 6.9764) \otimes (0.0271, 0.0328, 0.0394) = (0.1136, 0.1732, 0.2748)$ elde edilir. Bu vektörleri kullanarak;

$$V(S_{ŞP} \geq S_B) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_P) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_A) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_B \geq S_{ŞP}) = 0.0000, V(S_B \geq S_P) = 0.3876, V(S_B \geq S_A) = 1.0000, V(S_B \geq S_M) = 0.6321,$$

$$V(S_P \geq S_{ŞP}) = 0.2387, V(S_P \geq S_B) = 1.0000, V(S_P \geq S_A) = 1.0000, V(S_P \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_A \geq S_{ŞP}) = 0.0000, V(S_A \geq S_B) = 0.6533, V(S_A \geq S_P) = 0.0540, V(S_A \geq S_M) = 0.2946,$$

$$V(S_M \geq S_{ŞP}) = 0.0331, V(S_M \geq S_B) = 1.0000, V(S_M \geq S_P) = 0.7877, V(S_M \geq S_A) = 1.0000$$

bulunur.

Ağırlık vektörü $W_{HBV} = (0.78, 0.00, 0.19, 0.00, 0.03)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.8 Girdi enerji açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

	ŞP	B	P	A	M
ŞP	(1, 1, 1)	(0.84, 1.10, 1.44)	(0.84, 1.22, 1.74)	(1.44, 1.92, 2.44)	(0.75, 1, 1.34)
B	(0.69, 0.91, 1.19)	(1, 1, 1)	(1.74, 2.25, 2.75)	(0.94, 1, 1.06)	(1.06, 1.49, 2.01)
P	(0.57, 0.82, 1.19)	(0.36, 0.44, 0.57)	(1, 1, 1)	(0.58, 0.82, 1.19)	(0.61, 0.82, 1.12)
A	(0.41, 0.52, 0.69)	(0.94, 1, 1.06)	(0.84, 1.22, 1.72)	(1, 1, 1)	(0.62, 0.91, 1.34)
M	(0.75, 1, 1.33)	(0.50, 0.67, 0.94)	(0.89, 1.22, 1.64)	(0.75, 1.10, 1.61)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.8'den;

$$S_{ŞP} = (4.8700, 6.2400, 7.9600) \otimes (0.0299, 0.0378, 0.0473) = (0.1458, 0.2361, 0.3767),$$

$$S_B = (5.4344, 6.6491, 8.0105) \otimes (0.0299, 0.0378, 0.0473) = (0.1627, 0.2515, 0.3791),$$

$$S_P = (3.1283, 3.9041, 5.0752) \otimes (0.0299, 0.0378, 0.0473) = (0.0937, 0.1477, 0.2402),$$

$$S_A = (3.8136, 4.6503, 5.8224) \otimes (0.0299, 0.0378, 0.0473) = (0.1142, 0.1759, 0.2756),$$

$S_M = (3.8829, 4.9896, 6.5290) \otimes (0.0299, 0.0378, 0.0473) = (0.1163, 0.1888, 0.3090)$ elde edilir. Bu vektörleri kullanarak;

$$V(S_{ŞP} \geq S_B) = 0.9326, V(S_{ŞP} \geq S_P) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_A) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_B \geq S_{ŞP}) = 1.0000, V(S_B \geq S_P) = 1.0000, V(S_B \geq S_A) = 1.0000, V(S_B \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_P \geq S_{ŞP}) = 0.5164, V(S_P \geq S_B) = 0.4273, V(S_P \geq S_A) = 0.8170, V(S_P \geq S_M) = 0.7511,$$

$$V(S_A \geq S_{ŞP}) = 0.6833, V(S_A \geq S_B) = 0.5988, V(S_A \geq S_P) = 1.0000, V(S_A \geq S_M) = 0.9254,$$

$$V(S_M \geq S_{ŞP}) = 0.7753, V(S_M \geq S_B) = 0.6997, V(S_M \geq S_P) = 1.0000, V(S_M \geq S_A) = 1.0000$$

bulunur.

Ağırlık vektörü $W_{GE} = (0.26, 0.27, 0.12, 0.16, 0.19)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.9 Biyoetanol verimi açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

	ŞP	B	P	A	M
ŞP	(1, 1, 1)	(0.29, 0.31, 0.36)	(1.19, 1.49, 1.79)	(0.46, 0.61, 0.84)	(0.27, 0.31, 0.36)
B	(2.78, 3.23, 3.45)	(1, 1, 1)	(2.89, 3.39, 3.90)	(0.79, 1, 1.26)	(0.84, 0.85, 0.88)
P	(0.56, 0.67, 0.84)	(0.26, 0.29, 0.35)	(1, 1, 1)	(0.44, 0.58, 0.78)	(0.27, 0.31, 0.36)
A	(1.19, 1.64, 2.17)	(0.79, 1, 1.27)	(1.28, 1.72, 2.27)	(1, 1, 1)	(0.62, 0.91, 1.34)
M	(2.78, 3.23, 3.70)	(1.14, 1.18, 1.19)	(2.78, 3.23, 3.70)	(0.75, 1.10, 1.61)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.9'dan;

$$S_{\text{ŞP}} = (3.2100, 3.7200, 4.3500) \otimes (0.0267, 0.0312, 0.0366) = (0.0858, 0.1161, 0.1590),$$

$$S_{\text{B}} = (8.2978, 9.4658, 10.4883) \otimes (0.0267, 0.0312, 0.0366) = (0.2217, 0.2954, 0.3834),$$

$$S_{\text{P}} = (2.5251, 2.8561, 3.3264) \otimes (0.0267, 0.0312, 0.0366) = (0.0675, 0.0891, 0.1216),$$

$$S_{\text{A}} = (4.8862, 6.2735, 8.0525) \otimes (0.0267, 0.0312, 0.0366) = (0.1305, 0.1958, 0.2943),$$

$$S_{\text{M}} = (8.4382, 9.7270, 11.2108) \otimes (0.0267, 0.0312, 0.0366) = (0.2255, 0.3036, 0.4098) \text{ elde edilir. Buradan;}$$

$$V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{B}}) = 0.0000, V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{A}}) = 0.2631, V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{M}}) = 0.0000,$$

$$V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 1.0000, V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{A}}) = 1.0000, V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{M}}) = 0.9509,$$

$$V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 0.5706, V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{B}}) = 0.0000, V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{A}}) = 0.0000, V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{M}}) = 0.0000,$$

$$V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 1.0000, V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{B}}) = 0.4217, V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{M}}) = 0.3899,$$

$$V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 1.0000, V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{B}}) = 1.0000, V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{A}}) = 1.0000 \text{ bulunur.}$$

Ağırlık vektörü $W_{\text{BV}} = (0.00, 0.40, 0.00, 0.17, 0.43)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.10 Yan ürünler açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

	ŞP	B	P	A	M
ŞP	(1, 1, 1)	(1.74, 2.25, 2.75)	(1.19, 1.35, 1.48)	(1.19, 1.64, 2.16)	(0.89, 1, 1.12)
B	(0.36, 0.44, 0.57)	(1, 1, 1)	(0.75, 1, 1.34)	(0.94, 1.22, 1.55)	(0.65, 0.82, 1.06)
P	(0.68, 0.74, 0.84)	(0.75, 1, 1.33)	(1, 1, 1)	(0.79, 1, 1.26)	(0.69, 0.82, 1)
A	(0.46, 0.61, 0.84)	(0.65, 0.82, 1.06)	(0.79, 1, 1.27)	(1, 1, 1)	(0.77, 0.82, 0.89)
M	(0.89, 1, 1.12)	(0.94, 1.22, 1.54)	(1, 1.22, 1.45)	(1.12, 1.22, 1.30)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.10'dan;

$$S_{SP} = (6.0100, 7.2400, 8.5100) \otimes (0.0323, 0.0382, 0.0449) = (0.1943, 0.2764, 0.3825),$$

$$S_B = (3.7036, 4.4844, 5.5247) \otimes (0.0323, 0.0382, 0.0449) = (0.1197, 0.1712, 0.2483),$$

$$S_P = (3.9019, 4.5607, 5.4337) \otimes (0.0323, 0.0382, 0.0449) = (0.1261, 0.1741, 0.2442),$$

$$S_A = (3.6718, 4.2494, 5.0600) \otimes (0.0323, 0.0382, 0.0449) = (0.1187, 0.1622, 0.2274),$$

$$S_M = (4.9598, 5.6585, 6.4100) \otimes (0.0323, 0.0382, 0.0449) = (0.1603, 0.2160, 0.2881) \text{ elde edilir. Buradan;}$$

$$V(S_{SP} \geq S_B) = 1.0000, V(S_{SP} \geq S_P) = 1.0000, V(S_{SP} \geq S_A) = 1.0000, V(S_{SP} \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_B \geq S_{SP}) = 0.3395, V(S_B \geq S_P) = 0.9767, V(S_B \geq S_A) = 1.0000, V(S_B \geq S_M) = 0.6626,$$

$$V(S_P \geq S_{SP}) = 0.3283, V(S_P \geq S_B) = 1.0000, V(S_P \geq S_A) = 1.0000, V(S_P \geq S_M) = 0.6669,$$

$$V(S_A \geq S_{SP}) = 0.2252, V(S_A \geq S_B) = 0.9231, V(S_A \geq S_P) = 0.8950, V(S_A \geq S_M) = 0.5551,$$

$$V(S_M \geq S_{SP}) = 0.6086, V(S_M \geq S_B) = 1.0000, V(S_M \geq S_P) = 1.0000, V(S_M \geq S_A) = 1.0000 \text{ bulunur.}$$

Ağırlık vektörü $W_{YÜ} = (0.40, 0.14, 0.13, 0.09, 0.24)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.11 Biyoetanol üretiminde tecrübe ve işleme özelliği açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

	ŞP	B	P	A	M
ŞP	(1, 1, 1)	(1.06, 1.11, 1.14)	(1.19, 1.64, 2.16)	(0.79, 1, 1.26)	(0.46, 0.61, 0.84)
B	(0.88, 0.90, 0.94)	(1, 1, 1)	(1.74, 2.25, 2.75)	(2.01, 2.52, 3.03)	(0.89, 1, 1.12)
P	(0.46, 0.61, 0.84)	(0.36, 0.44, 0.57)	(1, 1, 1)	(0.75, 1, 1.34)	(0.33, 0.40, 0.50)
A	(0.79, 1, 1.27)	(0.33, 0.40, 0.50)	(0.75, 1, 1.33)	(1, 1, 1)	(0.36, 0.45, 0.58)
M	(1.19, 1.64, 2.17)	(0.89, 1, 1.12)	(2.00, 2.50, 3.03)	(1.72, 2.22, 2.78)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.11'den;

$$S_{ŞP} = (4.5000, 5.3600, 6.4000) \otimes (0.0292, 0.0349, 0.0417) = (0.1313, 0.1868, 0.2671),$$

$$S_B = (6.5172, 7.6709, 8.8434) \otimes (0.0292, 0.0349, 0.0417) = (0.1901, 0.2673, 0.3691),$$

$$S_P = (2.9066, 3.4542, 4.2550) \otimes (0.0292, 0.0349, 0.0417) = (0.0848, 0.1204, 0.1776),$$

$$S_A = (3.2300, 3.8468, 4.6767) \otimes (0.0292, 0.0349, 0.0417) = (0.0942, 0.1341, 0.1952),$$

$$S_M = (6.8075, 8.3616, 10.1056) \otimes (0.0292, 0.0349, 0.0417) = (0.1986, 0.2914, 0.4217) \text{ elde edilir. Buradan;}$$

$$V(S_{ŞP} \geq S_B) = 0.4887, V(S_{ŞP} \geq S_P) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_A) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_M) = 0.3958,$$

$$V(S_B \geq S_{ŞP}) = 1.0000, V(S_B \geq S_P) = 1.0000, V(S_B \geq S_A) = 1.0000, V(S_B \geq S_M) = 0.8763,$$

$$V(S_P \geq S_{ŞP}) = 0.4108, V(S_P \geq S_B) = 0.0000, V(S_P \geq S_A) = 0.8590, V(S_P \geq S_M) = 0.0000,$$

$$V(S_A \geq S_{ŞP}) = 0.5479, V(S_A \geq S_B) = 0.0366, V(S_A \geq S_P) = 1.0000, V(S_A \geq S_M) = 0.0000,$$

$$V(S_M \geq S_{ŞP}) = 1.0000, V(S_M \geq S_B) = 1.0000, V(S_M \geq S_P) = 1.0000, V(S_M \geq S_A) = 1.0000 \text{ bulunur.}$$

Ağırlık vektörü $W_{BÜTİÖ} = (0.17, 0.39, 0.00, 0.00, 0.44)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.12 Hammadde fiyatı açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

	ŞP	B	P	A	M
ŞP	(1, 1, 1)	(1.01, 1.24, 1.52)	(1.38, 1.84, 2.38)	(0.78, 1.00, 1.29)	(0.73, 0.87, 1.29)
B	(0.66, 0.81, 0.99)	(1, 1, 1)	(1.55, 2.03, 2.14)	(0.89, 1, 1.12)	(0.84, 1, 1.19)
P	(0.42, 0.54, 0.72)	(0.47, 0.49, 0.65)	(1, 1, 1)	(0.46, 0.61, 0.84)	(0.54, 0.74, 1.06)
A	(0.78, 1, 1.28)	(0.89, 1, 1.12)	(1.19, 1.64, 2.17)	(1, 1, 1)	(0.75, 1, 1.34)
M	(0.78, 1.15, 1.37)	(0.84, 1, 1.19)	(0.94, 1.35, 1.85)	(0.75, 1, 1.33)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.12'den;

$$S_{\text{ŞP}} = (4.9000, 5.9500, 7.4800) \otimes (0.0314, 0.0380, 0.0462) = (0.1538, 0.2261, 0.3457),$$

$$S_{\text{B}} = (4.9379, 5.8365, 6.4401) \otimes (0.0314, 0.0380, 0.0462) = (0.1550, 0.2218, 0.2976),$$

$$S_{\text{P}} = (2.8875, 3.3861, 4.2698) \otimes (0.0314, 0.0380, 0.0462) = (0.0906, 0.1287, 0.1973),$$

$$S_{\text{A}} = (4.6085, 5.6393, 6.9196) \otimes (0.0314, 0.0380, 0.0462) = (0.1447, 0.2143, 0.3198),$$

$$S_{\text{M}} = (4.3052, 5.5008, 6.7455) \otimes (0.0314, 0.0380, 0.0462) = (0.1351, 0.2091, 0.3117) \text{ elde edilir. Buradan;}$$

$$V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{B}}) = 1.0000, V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{A}}) = 1.0000, V(S_{\text{ŞP}} \geq S_{\text{M}}) = 1.0000,$$

$$V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 0.9709, V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{A}}) = 1.0000, V(S_{\text{B}} \geq S_{\text{M}}) = 1.0000,$$

$$V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 0.3086, V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{B}}) = 0.3124, V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{A}}) = 0.3807, V(S_{\text{P}} \geq S_{\text{M}}) = 0.4362,$$

$$V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 0.9336, V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{B}}) = 0.9565, V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{A}} \geq S_{\text{M}}) = 1.0000,$$

$$V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{ŞP}}) = 0.9024, V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{B}}) = 0.9247, V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{P}}) = 1.0000, V(S_{\text{M}} \geq S_{\text{A}}) = 0.9694 \text{ bulunur.}$$

Ağırlık vektörü $W_{\text{HF}} = (0.24, 0.23, 0.08, 0.23, 0.22)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.13 Enerji tüketimi açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

	ŞP	B	P	A	M
ŞP	(1, 1, 1)	(0.58, 0.82, 1.19)	(0.45, 0.60, 0.82)	(0.94, 1, 1.06)	(0.44, 0.58, 0.78)
B	(0.84, 1.22, 1.72)	(1, 1, 1)	(0.58, 0.82, 1.19)	(1.12, 1.49, 1.90)	(0.60, 0.74, 0.94)
P	(1.22, 1.67, 2.22)	(0.84, 1.22, 1.72)	(1, 1, 1)	(1.16, 1.37, 1.61)	(0.57, 0.70, 0.88)
A	(0.94, 1, 1.06)	(0.53, 0.67, 0.89)	(0.62, 0.73, 0.86)	(1, 1, 1)	(0.44, 0.58, 0.78)
M	(1.28, 1.72, 2.27)	(1.06, 1.35, 1.67)	(1.14, 1.43, 1.75)	(1.28, 1.72, 2.27)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.13'ten;

$$S_{ŞP} = (3.4100, 4.0000, 4.8500) \otimes (0.0307, 0.0378, 0.0462) = (0.1046, 0.1513, 0.2242),$$

$$S_B = (4.1403, 5.2695, 6.7541) \otimes (0.0307, 0.0378, 0.0462) = (0.1270, 0.1993, 0.3122),$$

$$S_P = (4.7898, 5.9562, 7.4364) \otimes (0.0307, 0.0378, 0.0462) = (0.1469, 0.2253, 0.3437),$$

$$S_A = (3.5308, 3.9811, 4.5988) \otimes (0.0307, 0.0378, 0.0462) = (0.1083, 0.1506, 0.2126),$$

$$S_M = (5.7643, 7.2282, 8.9665) \otimes (0.0307, 0.0378, 0.0462) = (0.1768, 0.2734, 0.4144) \text{ elde edilir. Buradan;}$$

$$V(S_{ŞP} \geq S_B) = 0.6693, V(S_{ŞP} \geq S_P) = 0.5108, V(S_{ŞP} \geq S_A) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_M) = 0.2795,$$

$$V(S_B \geq S_{ŞP}) = 1.0000, V(S_B \geq S_P) = 0.8642, V(S_B \geq S_A) = 1.0000, V(S_B \geq S_M) = 0.6463,$$

$$V(S_P \geq S_{ŞP}) = 1.0000, V(S_P \geq S_B) = 1.0000, V(S_P \geq S_A) = 1.0000, V(S_P \geq S_M) = 0.7762,$$

$$V(S_A \geq S_{ŞP}) = 0.9934, V(S_A \geq S_B) = 0.6371, V(S_A \geq S_P) = 0.4677, V(S_A \geq S_M) = 0.2255,$$

$$V(S_M \geq S_{ŞP}) = 1.0000, V(S_M \geq S_B) = 1.0000, V(S_M \geq S_P) = 1.0000, V(S_M \geq S_A) = 1.0000 \text{ bulunur.}$$

Ağırlık vektörü $W_{ET} = (0.10, 0.22, 0.26, 0.08, 0.34)^T$ şeklinde hesaplanır.

Çizelge 4.14 Arz talep durumu açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

	ŞP	B	P	A	M
ŞP	(1, 1, 1)	(2.01, 2.52, 3.03)	(2.16, 2.67, 3.18)	(1.38, 1.84, 2.38)	(2.44, 2.95, 3.46)
B	(0.33, 0.40, 0.50)	(1, 1, 1)	(2.11, 2.63, 3.14)	(1.44, 1.92, 2.44)	(2.02, 2.52, 3.06)
P	(0.31, 0.37, 0.46)	(0.32, 0.38, 0.47)	(1, 1, 1)	(0.70, 0.91, 1.19)	(0.89, 1, 1.12)
A	(0.42, 0.54, 0.72)	(0.41, 0.52, 0.69)	(0.84, 1.10, 1.43)	(1, 1, 1)	(0.94, 1.22, 1.55)
M	(0.29, 0.34, 0.41)	(0.33, 0.40, 0.50)	(0.89, 1, 1.12)	(0.65, 0.82, 1.06)	(1, 1, 1)

Çizelge 4.14'ten;

$$S_{ŞP} = (8.9900, 10.9800, 13.0500) \otimes (0.0271, 0.0322, 0.0386) = (0.2435, 0.3536, 0.5043),$$

$$S_B = (6.9000, 8.4668, 10.1375) \otimes (0.0271, 0.0322, 0.0386) = (0.1869, 0.2727, 0.3918),$$

$$S_P = (3.2229, 3.6648, 4.2469) \otimes (0.0271, 0.0322, 0.0386) = (0.0873, 0.1180, 0.1641),$$

$$S_A = (3.6103, 4.3832, 5.3977) \otimes (0.0271, 0.0322, 0.0386) = (0.0978, 0.1412, 0.2086),$$

$$S_M = (3.1538, 3.5555, 4.0923) \otimes (0.0271, 0.0322, 0.0386) = (0.0854, 0.1145, 0.1581) \text{ elde edilir. Buradan;}$$

$$V(S_{ŞP} \geq S_B) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_P) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_A) = 1.0000, V(S_{ŞP} \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_B \geq S_{ŞP}) = 0.6469, V(S_B \geq S_P) = 1.0000, V(S_B \geq S_A) = 1.0000, V(S_B \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_P \geq S_{ŞP}) = 0.0000, V(S_P \geq S_B) = 0.0000, V(S_P \geq S_A) = 0.7414, V(S_P \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_A \geq S_{ŞP}) = 0.0000, V(S_A \geq S_B) = 0.1417, V(S_A \geq S_P) = 1.0000, V(S_A \geq S_M) = 1.0000,$$

$$V(S_M \geq S_{ŞP}) = 0.0000, V(S_M \geq S_B) = 0.0000, V(S_M \geq S_P) = 0.9527, V(S_M \geq S_A) = 0.6937 \text{ bulunur.}$$

$$\text{Ağırlık vektörü } W_{ATD} = (0.61, 0.39, 0.00, 0.00, 0.00)^T \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

4.2.2.2 Önem Ağırlıklarının Birleşik Özeti

En uygun hammaddenin seçimi için belirlenen alt kriter ve hammadde önem ağırlıkları özeti ve birleşimi Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17’de görülmektedir.

Çizelge 4.15 Tarımsal özellik alt kriterleri önem ağırlıkları özeti ve birleşimi

	Tarımsal Özellik Alt Kriterleri				
	TÜM	DS	HBV	GE	<i>Seçenek Önem Ağırlığı</i>
<i>Ağırlık</i>	0.15	0.33	0.19	0.33	
Seçenek					
ŞP	0.37	0	0.78	0.26	0.29
B	0.63	0.49	0	0.27	0.35
P	0	0	0.19	0.12	0.07
A	0	0.33	0	0.16	0.16
M	0	0.18	0.03	0.19	0.13

Çizelge 4.15’ten de görüldüğü üzere Girdi Enerji (GE) alt kriteri yani hammaddenin yetiştirilmesi sürecinde harcanan yakıt, makine-malzeme ekipmanları, gübreleme, bitki ve böcek ilaçları, işgücü ve tarladaki taşımalarda kullanılan enerji ve Depolanabilme Süreleri (DS) alt kriteri yani hammaddenin hasat sonrası durumundan biyoetanol üretimi aşamasına gelene kadar depolanabilmesi kriteri Tarımsal Özellikler kriteri için en fazla önem ağırlığına sahip alt kriterler olarak belirlenmiştir. Tarımsal Özellikler kriteri için bu alt kriterleri, Hektar Başına Verim (HBV) alt kriteri ve Türkiye’deki Üretim Miktarları (TÜM) alt kriteri takip etmektedir.

Tarımsal Özellikler açısından en avantajlı hammadde buğday olarak belirlenmiştir. Buğdayı şeker pancarı, arpa, mısır ve patates takip etmektedir.

Çizelge 4.16’da görüldüğü gibi Biyoetanol Özellikleri alt kriterleri içerisinde 1 ton hammaddeden elde edilen biyoetanol miktarını ifade eden Biyoetanol Verimi (BV) alt kriteri

en büyük önem ağırlığına sahip kriter olarak belirlenmiştir. Bunu Biyoetanol Üretiminde Tecrübe ve İşleme Özelliği (BÜTİÖ) alt kriteri ve Yan Ürünler (YÜ) alt kriteri takip etmektedir.

Çizelge 4.16 Biyoetanol özellikleri alt kriterleri önem ağırlıkları özeti ve birleşimi

	Biyoetanol Özellikleri Alt Kriterleri			
	BV	YÜ	BÜTİÖ	<i>Seçenek Önem Ağırlığı</i>
<i>Ağırlık</i>	0.65	0	0.35	
Seçenek				
ŞP	0	0.40	0.17	0.06
B	0.40	0.14	0.39	0.40
P	0	0.13	0	0
A	0.17	0.09	0	0.11
M	0.43	0.24	0.44	0.43

Biyoetanol Özellikleri açısından en avantajlı hammadde mısır olarak belirlenmiştir. Mısırı buğday, arpa, şeker pancarı ve patates takip etmektedir.

Çizelge 4.17’de görüldüğü gibi biyoetanol üretiminde kullanılacak 1 kg hammaddenin fiyatını ifade eden Hammadde Fiyatı (HF) alt kriteri Mali Özellikler alt kriterleri içerisinde en büyük önem ağırlığına sahip kriter olarak belirlenmiştir. Bunu Arz Talep Durumu (ATD) alt kriteri ve Enerji Tüketimi (ET) alt kriteri takip etmektedir.

Mali Özellikler açısından şeker pancarı hammaddesi en avantajlı hammadde olarak belirlenmiştir. Şeker pancarını buğday, mısır, arpa ve patates takip etmektedir.

Bu değerler belirlendikten sonra bu değerler ile ana kriter önem ağırlıkları göz önüne alınarak sonuca ulaşılır. Çizelge 4.18’de ana kriterler için önem ağırlıkları özeti ve birleşimi görülmektedir.

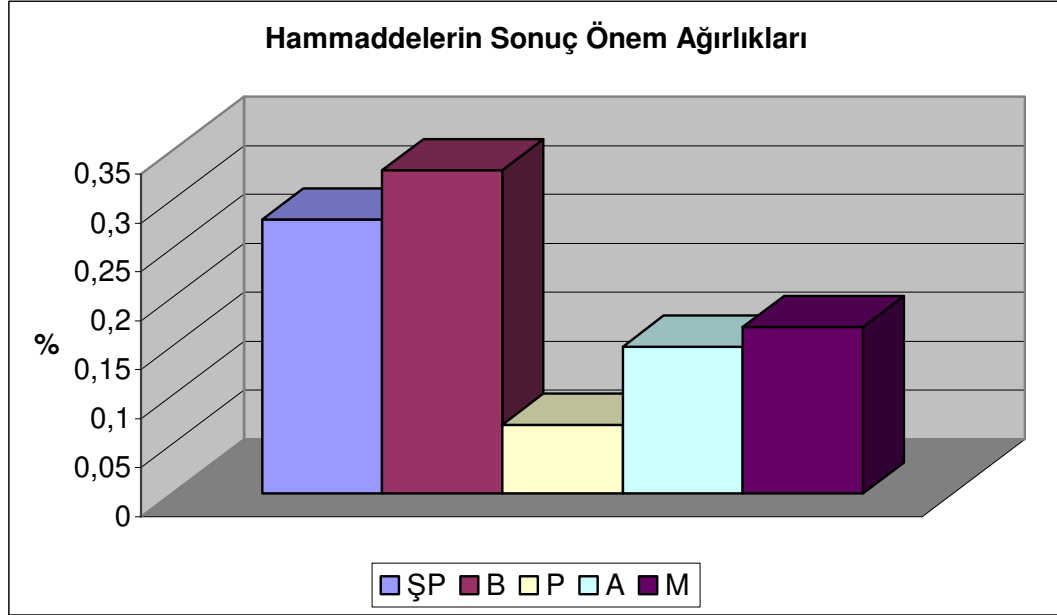
Çizelge 4.17 Mali özellikler alt kriterleri önem ağırlıkları özeti ve birleşimi

	Mali Özellikler Alt Kriterleri			
	HF	ET	ATD	<i>Seçenek Önem Ağırlığı</i>
<i>Ağırlık</i>	0.45	0.27	0.28	
Seçenek				
ŞP	0.24	0.10	0.61	0.30
B	0.23	0.22	0.39	0.27
P	0.08	0.26	0	0.11
A	0.23	0.08	0	0.13
M	0.22	0.34	0	0.19

Çizelge 4.18 Ana kriterler için önem ağırlıkları özeti ve birleşimi

	Ana Kriterler			
	TÖ	BÖ	MÖ	<i>Seçenek Önem Ağırlığı</i>
<i>Ağırlık</i>	0.68	0.07	0.25	
Seçenek				
ŞP	0.29	0.06	0.30	0.28
B	0.35	0.40	0.27	0.33
P	0.07	0	0.11	0.07
A	0.16	0.11	0.13	0.15
M	0.13	0.43	0.19	0.17

Çizelge 4.18’den de görüldüğü gibi Tarımsal Özellikler ana kriteri biyoetanol üretimi için seçilecek hammadde türünün belirlenmesinde en fazla ağırlığa sahip kriter olarak belirlenmiştir, bunu Mali Özellikler ana kriteri ve Biyoetanol Özellikleri ana kriteri takip etmektedir.

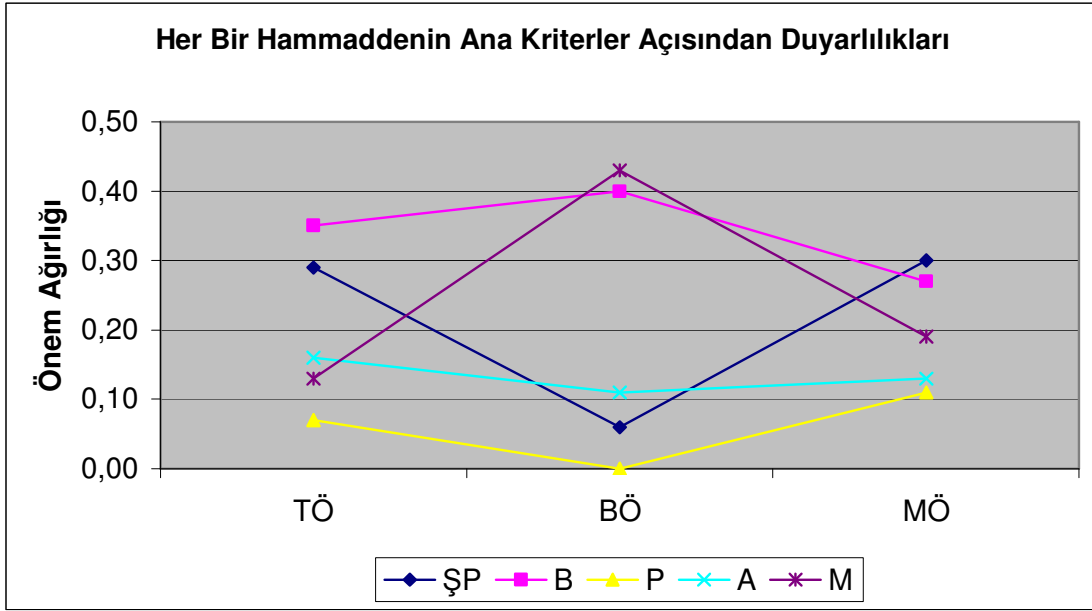


Şekil 4.5 Hammaddelerin sonuç önem ağırlıkları

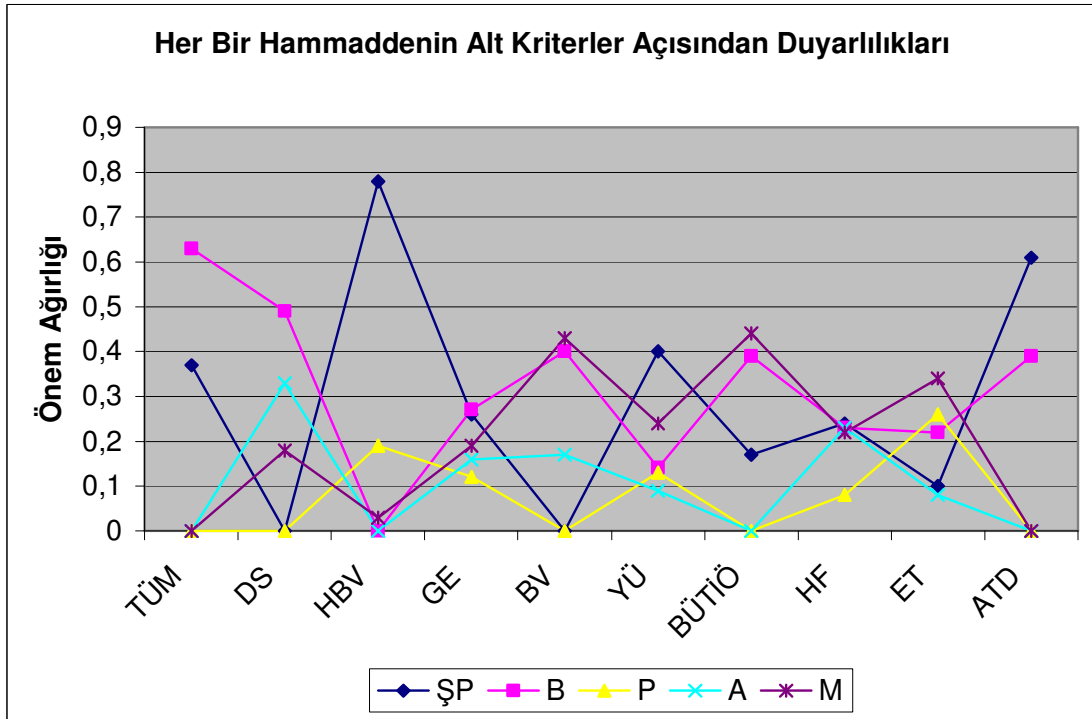
Çizelge 4.18 ve Şekil 4.5’te her bir hammadde için sonuç önem ağırlıkları görülmektedir. Sonuca göre buğday hammaddesi Türkiye için en uygun biyoetanol hammaddesidir. Buğdayı şeker pancarı takip etmektedir, daha sonra ise mısır, arpa ve patates gelmektedir.

Şekil 4.6’dan da görüldüğü gibi biyoetanol üretimi için en uygun hammadde olarak belirlenen buğdayın Tarımsal Özellikler kriterleri açısından en avantajlı hammadde olarak görülmektedir.

Şekil 4.7’de her bir hammaddenin alt kriterler açısından önem ağırlıkları görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere biyoetanol üretimi için en uygun hammadde olarak belirlenen buğday, Türkiye’deki Üretim Miktarı, Depolanabilme Süresi ve Girdi Enerji kriterleri açısından diğer ürünlere göre daha üstündür.



Şekil 4.6 Her bir hammaddenin ana kriterler açısından duyarlılıkları



Şekil 4.7 Her bir hammaddenin alt kriterler açısından duyarlılıkları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Taşıma sektörü için yakıt olarak biyoetanol kullanılması ile önemli avantajlar elde edilmektedir. Bunlar içersinde en önemlileri enerji güvenliğinin artırılması ve çevreye verilen zararın azaltılması sayılabilir. Ayrıca tarımsal kesim için bir pazar ve işgücü de yaratılmış olmaktadır. Dünya üzerinde birçok ülke biyoetanolün bu faydalarını göz önünde tutarak biyoetanol için gerçekleştirilen temel araştırmalardan kullanım zorunluluğuna kadar her alanda biyoetanol lehindeki desteğini ortaya koymuştur.

Bu çalışmada ortaya konulan veya çalışmada ele alınmayıp ancak ileride ele alınması gereken biyoetanolün bazı potansiyel avantaj ve dezavantajları Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Çizelge 5.1 Biyoetanolün potansiyel avantaj ve dezavantajları

Potansiyel Avantajlar	Potansiyel Dezavantajlar
Enerji Güvenliğine Katkısı	Maliyetinin Benzine Göre Fazla Olması
İthal Petrole Ödenen Parayı Azaltması	Bazı Emisyonları Artırması
Sera Gazı Emisyonlarını Düşürmesi	Tarımsal Ürün Fiyatlarını Artırması
Hava Kirleticisi Emisyonları Düşürmesi	Toprak Kullanımının Tarımsal Kullanıma Meyletmesi Sonucu Doğal Hayat Alanlarının Tehlikeye Atılması vb. gibi Diğer Çevresel Etkiler
Araç Performansını Artırması	
Tarımsal Sektörün Gelirini Artırması ve İstihdam Sağlaması	

Bugüne kadar yapılan birçok çalışma biyoetanolün maliyeti üzerine yoğunlaşmıştır. Biyoetanolün bazı önemli maliyetleri haricindeki diğer etkileri etraflı bir şekilde ele alınıp değerlendirilmemiştir. Maliyet faktörünün yanı sıra diğer etkilerin de ayrıntılı olarak değerlendirilmesi biyoetanolün gerçek etkisinin ortaya çıkması için önemlidir.

Biyoetanolün en büyük etkilerinden birisi yurtiçi kaynaklı enerji arzı sayesinde enerji güvenliğine katkıda bulunmasıdır. 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi ve dünyanın düştüğü

sıkıntı göz önüne alındığında petrol ihtiyacının %90'ını ithal ederek karşılayan, bunu da belli bir bölgeden sağlayan Türkiye için biyoetanolün alternatif bir yakıt olarak değerlendirilmesi uygun düşecektir.

Türkiye petrol ihtiyacının yaklaşık olarak %90'ını ithal ederek karşılamaktadır. Bu ithalat başta Ortadoğu olmak üzere istikrarsız bölgelerden sağlanmaktadır. Bu nedenle petroldeki fiyat dalgalanmaları Türkiye'yi çok fazla etkilemektedir. Türkiye'nin 2005 yılında ithal edilen petrole ödediği miktar 8,6 milyar ABD Dolarını bulmuştur. Bu değer Türkiye'nin 2005 yılı dış ticaret açığının %20'sini teşkil etmektedir. Biyoetanol üretimi sürecinde petrolün bir miktarı kullanıldığı göz önünde bulundurulduğunda, %5'lik bir biyoetanol karışımı tercih edildiğinde petrol tüketimi yaklaşık olarak %4 azalacaktır.

Küresel ölçekte bakıldığında enerji faaliyetleri ile ilgili sera etkisi yapan emisyonların başında gelen CO₂ emisyonlarının yaklaşık %25'i taşımacılıktan kaynaklanmaktadır. Tahıllardan üretilen yüksek karışimli biyoetanol kullanımı benzin ile kıyaslandığında toplam sera gazı emisyonlarında önemli düşüslere neden olmaktadır. Bu alandaki neticeler kullanılan karışım türü ve kullanılan hammadde çeşidine de bağlıdır. E85 gibi yüksek biyoetanol içeriği olan karışımlarda sera gazı emisyonlarındaki düşüş daha fazla olacaktır.

Hava kirliliği ile mücadelede de biyoetanol kullanılması olumlu sonuç vermektedir. Biyoetanol kullanılması ile karbonmonoksit (CO), partikül madde ve kükürtdioksit (SO₂) emisyonları benzinin kullanıldığı duruma göre düşmektedir. Tüm çevrim göz önüne alındığında azot oksit (NO_x) emisyonu değerinde artış olabilmektedir. Biyoetanolün kullanılması ile birçok zehirleyici hava kirliletiçi de azaltılmış olur. Bunun yanında kanserojen maddelerden olan asetaldehit, formaldehit ve peroksiasetil nitrat emisyonları artmaktadır. Ancak zehirli emisyonlardan olan benzen, 1,3 bütadien, toluene ve ksilen değerleri azalmaktadır.

Biyoetanol kullanılması ile aracın performansına olumlu katkı yapılmaktadır. Araçlarda motor performansını etkileyen faktörlerden birisi sıkıştırma oranı ile oktan kalitesi arasındaki ilişkidir. Belli bir sıkıştırma oranında yeterli miktarda oktan sayısına sahip yakıt iyi çalışacaktır, dolayısı ile yüksek oktan değerine sahip biyoetanol bu anlamda araç performansını olumlu yönde etkileyecektir.

Biyoetanolün yurtiçi tarım pazarını genişletmesi, tarım kesimine bir canlılık getirmesi konusu da ilgi çekmektedir. Biyoetanolün çiftçilerin gelirlerini artırmaya ve ekim alanlarından daha fazla üretim almaya dönük çabalarına etkisi olumlu olmaktadır. Ancak bunun yanında

kullanılan tarımsal ürünün aynı zamanda biyoetanol üretimi için bir hammadde konumunda bulunması diğer tüketim alanlarında bir arz sorunu yaratabilmekte ve fiyat yükselmelerine sebebiyet verebilmektedir.

Son 10 yıl içerisinde biyoetanol üretim maliyetlerinde düşüş gözlenirse de OECD ülkeleri için benzinin rafineri çıkış maliyeti ile kıyaslandığında biyoetanol üretim maliyetleri hala yüksektir. Bazı gelişmekte olan ülkelerde şeker kamışı hammadde olarak kullanıldığında düşük maliyetli sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bunun yanında yüksek karışım oranlarındaki biyoetanol kullanımı araçlarda uyarılma gerektirdiğinden ayrı bir maliyet kalemi oluşturmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye’de biyoetanol üretimi için kullanılabilecek beş tarımsal ürün ele alınmış ve en uygun hammaddenin buğday olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç değişik bölgelerin kendilerine has özellikleri nedeni ile her yöreyi kesin olarak bağlayıcı değildir. Çalışma tüm Türkiye’yi göz önüne alarak genel şartlar değerlendirilip sonuca bağlanmıştır. 2003 yılında Avrupa Komisyonu biyoyakıtların ve taşıma için olan diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına yönelik yayınladığı talimat gereğince Avrupa Birliği içerisinde yakıtlardaki biyoyakıt oranının 31 Aralık 2010 itibarı ile %5,75 olması hedeflenmektedir. Türkiye’de de biyoetanol TS EN 228 kurşunsuz benzin standardına göre %5 oranında benzine ilave edilebilmektedir. Türkiye’nin 2005 yılı itibarı ile toplam benzin tüketimi 2.674.070 tondur. Türkiye’nin %5’lik bir karışım oranında biyoetanol ihtiyacı hacimsel olarak ifade edilirse 165.000.000 - 180.000.000 litre olacaktır. 1 ton buğdaydan 350 litre biyoetanol elde edildiği farz edilirse Türkiye’nin bu alana dönük olarak yıllık 470.000 - 515.000 ton buğdaya ihtiyacı vardır.

Ülkelerin biyoetanol lehine uyguladıkları bazı vergi politikaları biyoetanol üretimi için umut verici gelişmeler yaşanmasına yol açmaktadır. Bu doğrultuda Türkiye de biyoetanol yakıtı vergilendirmesinde teşvik edici kararlar almalıdır. Biyoetanol kullanımının yaygınlaştırılması ve benzinin rafineri çıkış fiyatı ile daha rekabet edebilir bir fiyat elde etmek amacı ile biyoetanol lehine vergi indirimleri Türkiye’nin menfaatine olacaktır.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., Oğuz, H., ve Ünalı, M., (2004), “Türkiye İçin Alternatif Bir Yakıt: Biyoetanöl, Yakıt Olarak Kullanımı ve Emisyon Değerleri”, Biyoenerji 2004 Sempozyumu, Ekim 2004, İzmir.
- APWA, (2004), “APWA Washington Report - Transportation”, American Public Works Association, Washington Office, Ekim 2004.
- Atan, M., Akyıldız, E. ve Maden, U., (2004), “Analitik Hiyerarşı Süreci (AHS) Kullanımı ile Bir Bankada Kredi Taleplerinin Değerlendirilmesi”, VIII. Ulusal Finans Sempozyumu, 26-28 Ekim 2004, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Avcı, A., (2004), “Bazı Thermoanaerobacter Suşlarının Etanol Üretim Oranlarının Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- BBI International, (2002), “State of Maine Ethanol Pre-Feasibility Study”, Ekim 2002. <http://www.famemaine.com/html/whatsnew/pdf/fame-Final%20Report%2010-24.pdf>
- BBI International, (2005), “Fuel Ethanol: A Technological Evolution”, Haziran 2005. <http://www.bbibiobiofuels.com/ethanolevolution>
- Berg, C., (2004), “World Fuel Ethanol Analysis and Outlook”, F.O. Licht, Nisan 2004, Ratzeburg, Almanya.
- Buckley, J.J., (1985), “Fuzzy Hierarchical Analysis”, Fuzzy Sets and Systems, 17, 233–247.
- Chan, F.T.S. ve Kumar, N., (2004), “Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-Based Approach”, Omega, The International Journal of Management Science, 35, 4, 417-431.
- Chang, D.Y., (1996), “Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP”, European Journal of Operational Research, 95, 649–655.
- ÇEDB, (2004), “Türkiye Çevre Atlası”, Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Duygu, E., (2002), “Bir Elimizde Fosil Yakıt, Bir Elimizde Ayna, Umurumuzda mı Dünya veya Biyokütle ile Enerjisi?”, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Cilt 41, Sayı 412, 32-38, Şubat 2002.
- Easson, D.L., Woods, V.B. ve Forbes, E.G.A., (2004), “Potential of Cropping for Liquid Biofuels in Northern Ireland”, Department of Agriculture and Rural Development for Northern Ireland, The Agricultural Research Institute of Northern Ireland, Haziran 2004.
- ESRU, (2003), “What is Bioethanol”, Energy Systems Research Unit, University of Strathclyde. www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/02-03/biofuels/what_bioethanol.htm
- Graboski, M.S., (2002), “Fossil Energy Use in the Manufacture of Corn Ethanol”, Colorado School of Mines, Ağustos 2002.
- Grassi, G., (2005), “Technologies of Liquid Biofuels Production in Europe”, European Biomass Industry Association, Nisan 2005, Brüksel, Belçika.
- Günel, E., Çalışkan, M.E., Tortopoğlu, A.İ., Kuşman, N., Tuğrul, K.M., Yılmaz, A., Dede, Ö. ve Öztürk, M., (2005), “Nişasta ve Şeker Bitkileri Üretimi”. <http://www.zmo.org.tr/etkinlikler/6tk05/021erolgunel.pdf>

- Haydock, H., (2003), "International Resource Costs of Biodiesel and Bioethanol", AEA Technology, Haziran 2003.
- Henke, J.M., Klepper, G. ve Schmitz, N., (2005), "Tax Exemption for Biofuels in Germany: Is Bio-ethanol Really an Option for Climate Policy?", *Energy*, 30, 2617-2635.
- IEA, (1994), "Biofuels", Energy and Environment Policy Analysis Series, International Energy Agency, Nisan 2004.
- IEA, (2002), "Bus Systems for the Future: Achieving Sustainable Mobility Worldwide", International Energy Agency, Paris, Fransa.
- IEA, (2004), "Biofuels for Transport: An International Perspective", International Energy Agency, Nisan 2004.
- IFEU, (2004), "CO₂ Mitigation Through Biofuels in the Transport Sector", Institute for Energy and Environmental Research, 56, Ağustos 2004, Heidelberg, Almanya.
- Kahraman, C., Cebeci, U. ve Ruan, D., (2004), "Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey", *International Journal of Production Economics*, 87, 171-184.
- Karaca, C., Başçetinçelik, A. ve Öztürk, H., (2004), "Bazı Avrupa Birliği Ülkelerinde Biyokütle Politikaları", V. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, 1, 439-448, Mayıs 2004, İstanbul.
- Karaosmanoğlu, F., (2002), "Türkiye için Çevre Dostu Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotorin", *Enerji ve Kojenerasyon Dünyası Dergisi*, 10, 50-56, Nisan 2002, İstanbul.
- Karaosmanoğlu, F., (2004), "Enerji ve Kalkınma için Yenilenebilir Bir Kaynak Olarak Biyoyakıtlar", Ankara İklim Değişikliği Konferansı Sunumu, 1-3 Eylül 2004, Ankara.
- Karaosmanoğlu, F., (2005), "Biyokökenli Endüstriyel Ürünler-I: Yakıt Alkolü", 3e Dergisi, Sayı 134, Temmuz 2005.
- Kıyak, E., ve Kahvecioğlu, A., (2003), "Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması", *Havacılık ve Uzun Teknolojileri Dergisi*, Cilt 1, Sayı 2, 63-72, Temmuz 2003.
- Laarhoven, P.J.M. ve Pedrycz, W., (1983), "A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory", *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229-241.
- Levelton Engineering Ltd., (2000), "Assessment of Net Emissions of Greenhouse Gases from Ethanol-Blended Gasolines in Canada: Lignocellulosic Feedstocks", Report to Agriculture and Agri-Food Canada, Ocak 2000, Ottawa, Ontario, Kanada.
- Liimatainen H., Kuokkanen T. ve Kääriäinen J., (2004), "Development of Bio-ethanol Production from Waste Potatoes." *Proceedings of the Waste Minimization and Resources Use Optimization Conference*, 10 Haziran 2004, University of Oulu, Oulu University Press: Oulu, s.123.- 129, Finlandiya.
- Meyers Norris Penny LLP, (2004), "Economic, Financial, Social Analysis and Public Policies for Fuel Ethanol", Kasım 2004. <http://www.greenfuels.org/ethanol/studies.htm#un>
- Mornier, V. ve Lannere B., (2000). "Bioethanol in France and Spain", Taylor Nelson Sofres Consulting, Batelle Pacific Northwest National Laboratory, For the IEA Bioenergy Task 27, Ekim 2000.

- Mortimer, N.D., Elsayed, M.A. ve Horne. R.E., (2004), "Energy and Greenhouse Gas Emissions for Bioethanol Production From Wheat Grain and Sugar Beet", School of Environment and Development, Sheffield Hallam University, Ocak 2004.
- Niven, R.K., (2004), "Ethanol in Gasoline: Environmental Impacts and Sustainability Review Article", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 9, 535-555.
- NREL, (2002), "Feasibility Study for Bioethanol Co-Location with a Coal Fired Power Plant", National Renewable Energy Laboratory, Temmuz 2002. www.nrel.gov/docs/fy03osti/32999.pdf
- O'Connor, D., (2003), "Wheat and Barley as Ethanol Feedstocks", (S&T)² Consultants Inc., World Summit on Ethanol for Transportation, Kasım 2003, Quebec City, Quebec, Kanada. <http://www.bbibiofuels.com/worldsummit/files/O'Connor-WSET.pdf>
- OECD, (2005), "Supportive Study for the OECD on Alternative Developments in Biofuel Production Across the World", Organisation for Economic Co-operation and Development, Working Party on Agricultural Policies and Markets, Kasım 2005.
- Paksoy, T. ve Atak, M., (2003), "Etkileşimli Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama ile Bütünleşik Üretim Planlama: Hidrolik Pompa İmalatçısı Firma Örnek Olayı", Kocaeli Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Kulübü, Kasım 2003.
- Pamir, N., (2003), "Dünya'da ve Türkiye'de Enerji, Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Enerji Politikaları", Metalurji Dergisi, 2-4, Temmuz 2003.
- PETDER, (2006), "2005 Sektör Raporu", Petrol Sanayi Derneği, Şubat 2006.
- Pimentel, D., (2003), "Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics and Environmental Impacts are Negative", Natural Resources Research, Vol. 12, No. 2, Haziran 2003.
- Reynolds, R.E., (2000), "The Current Fuel Ethanol Industry - Transportation, Marketing, Distribution and Technical Considerations", Project Report, Downstream Alternatives Inc., Mayıs 2000, Indiana, ABD.
- RFA, (2006), "From Niche to Nation, Ethanol Industry Outlook 2006", Renewable Fuels Association, Şubat 2006, Washington, ABD.
- Rice, B., (1999), "Report From The Republic of Ireland", Interactive European Network for Industrial Crops and their Applications.
- (S&T)² Consultants Inc., (2003), "The Addition of Ethanol From Wheat to GHGenius", Ocak 2003. <http://www.gov.mb.ca/est/energy/ethanol/pdf/wheat-ethanolreport.pdf>
- Saaty, T.L., (1978), "Modeling Unstructured Decision Problems - The Theory of Analytical Hierarchies", Mathematics and Computers in Simulation, 20, 147-158.
- SAGM, (2006), "Newsletter from the Swedish Association of Green Motorists", Swedish Association of Green Motorists, The World of Environmental Cars, Şubat 2006.
- Salter, A., (2006), "Selection of Energy Crops - Agroeconomic and Environmental Considerations" Cropgen Dissemination, University of Southampton, Şubat 2006.
- Schmitz, T.G., Buzzanell, P.J. ve Seale, J.L., (2002), "Brazil's Domination of the World Sugar Market", Faculty Working Paper Series, Arizona State University, Morrison School of Agribusiness and Resource Management, Temmuz 2002.

SERI, (1980), "Fuel From Farms - A Guide to Small-Scale Ethanol Production", USA Solar Energy Research Institute, Şubat 1980.

Sgaramella, A., Marco, O. ve Lagioia, G., (2003), "Material Flow Analysis of Sugar Beet Cultivation", Department of Commodity Science, University of Bari, Ekim 2003.

Shapouri, H., Duffield, J.A. ve Wang, M., (2002), "The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update", Agricultural Economic Report No: 814, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses, Temmuz 2002, Washington, D.C.

T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, (2004), "Buğday-Arpa Tarımı", Çiftçi Eğitim Serisi Yayınları, Ankara.

TMO, (2005), "2005 Yılı Hububat Raporu", Toprak Mahsulleri Ofisi.

TZOB, (2003), "Mısır Çalışma Grubu Raporu", Türkiye Ziraat Odaları Birliği, Temmuz 2003.

TZOB, (2004), "Patates Raporu", Türkiye Ziraat Odaları Birliği, Şubat 2004.

USDA, (2006), "France Oilseeds and Products French Biofuel Production Booms 2005", Global Agriculture Information Network Report, United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, Ocak 2006.

Uyanık, T., (2006), "Maden ve Mineraller", T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, 2006.

Wang, M., Saricks, C. ve Santini, D., (1999), "Effects of Fuel Ethanol Use on Fuel-Cycle Energy and Greenhouse Gas Emissions", Center for Transportation Research Argonne National Laboratory, United States Department of Energy, Ocak 1999.

Wyman, C.E., (1996), "Handbook On Bioethanol: Production And Utilization", Applied Energy Technology Series.

Zadeh, L.A., (1965), "Fuzzy Sets", Information Control, 8, 338-353.

INTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://www.fao.org/>

[2] <http://www.oecd.org/>

[3] <http://www.pigm.gov.tr/>

[4] <http://www.tuik.gov.tr/>

EKLER

- Ek 1 Türkiye’de biyoetanol üretimi için en uygun hammadde türünün seçilmesine yönelik anket çalışması

Ek 1 Türkiye’de biyoetanol üretimi için en uygun hammadde türünün seçilmesine yönelik anket çalışması

Bu çalışmanın amacı, biyoetanol üretimi için en uygun hammadde türünün seçilmesidir. Beş hammadde türü ortaya konulmuş ve biyoetanol üretimi sürecinde göz önüne alınan önemli kriterler belirlenmiştir.

Problemimiz 3 ana kriter ve bu 3 kriterin toplam 10 alt kriterinin alternatif 5 hammadde için değerlendirilip en iyi hammaddenin seçilmesi şeklindedir. Hammaddelerimiz Şeker Pancarı (ŞP), Buğday (B), Patates (P), Arpa (A) ve Mısır (M)’dir.

3 ana kriterimiz ise Tarımsal Özellikler (TÖ), Biyoetanol Özellikleri (BÖ) ve Mali Özellikler (MÖ) kriterleridir. Bunların alt kriterleri ise;

TARIMSAL ÖZELLİKLER için

- Türkiye’deki Üretim Miktarları (TÜM) alt kriteri: Hammaddenin ton olarak Türkiye’deki yıllık üretim miktarını ifade etmektedir.
- Depolanabilme Süreleri (DS) alt kriteri: Hammaddenin hasat sonrası durumundan biyoetanol üretimi aşamasına gelene kadar depolanabilme süresini ifade etmektedir.
- Hektar Başına Verim (HBV) alt kriteri: Ekilen her hektardan elde edilen hammadde miktarı ifade etmektedir.
- Girdi Enerji (GE): Literatürde bu enerji miktarı hesaplamasında ürünün yetiştirilmesi sürecinde harcanan yakıt, makine-malzeme ekipmanları, gübreleme, bitki ve böcek ilaçları, işgücü ve tarladaki taşımalar göz önüne alınmıştır.

BİYOETANOL ÖZELLİKLERİ için

- Biyoetanol Verimi (BV) alt kriteri: Bir ton hammaddeden kaç litre biyoetanol elde edilebildiğini ifade etmektedir.
- Yan Ürünler (YÜ) alt kriteri: Hammaddenin biyoetanol üretimi için kullanılması sonucu elde edilen artık üründen ne kadar hayvan yemi üretilebileceğini, bunun protein değerini ifade etmektedir.
- Biyoetanol Üretiminde Tecrübe ve İşleme Özelliği (BÜTİÖ) alt kriteri: Dünya üzerinde bahsi geçen hammaddeden biyoetanol üretimi örneklerini ve biyoetanol üretimi sürecinde hammadde işleme özelliklerini ifade etmektedir.

MALİ ÖZELLİKLER için

- Hammadde Fiyatı (HF) alt kriteri: Biyoetanol üretiminde kullanılacak 1 kg hammaddenin

fiyatını ifade etmektedir.

- Enerji Tüketimi (ET) alt kriteri: Literatürde geçen, ürünün işlenmesi sonucu her 1 litre biyoetanol için yaklaşık olarak elektrik ve doğal gaz enerjisi tüketimini ifade etmektedir.
- Arz Talep Durumu (ATD) alt kriteri: Biyoetanol üretiminde kullanılacak hammaddenin Türkiye’deki üretim ve tüketim değerlerinin birbirini karşılayabilme derecesini ifade etmektedir.

Tabloların nasıl doldurulacağı hakkında aşağıda örnek olarak değerlendirilmiş bir tablo ve açıklaması vardır. Sağdaki özellik soldakine göre daha önemli ise işaretinizi sağ tarafta uygun yere koyunuz, soldaki daha önemli ise işaretinizi sola koyunuz, özelliklerin birbirlerine göre eşit önemde olduklarını düşünüyorsanız işaretinizi ortaya koyunuz.

		Ana Kriterlerin Birbirleri Üzerindeki Önem Dereceleri									
Sorular	Özellikler	Kesin (7/2, 4, 9/2)	Çok Güçlü (5/2, 3, 7/2)	Biraz Güçlü (3/2, 2, 5/2)	Zayıf (2/3, 1, 3/2)	Eşit (1, 1, 1)	Zayıf (2/3, 1, 3/2)	Biraz Güçlü (3/2, 2, 5/2)	Çok Güçlü (5/2, 3, 7/2)	Kesin (7/2, 4, 9/2)	Özellikler
S1	TÖ		X								BÖ
S2	TÖ					X					MÖ
S3	BÖ						X				MÖ

Tarımsal özelliğin, Biyoetanol özelliğine göre “çok güçlü” derecede üstün olduğunu ifade eder.

Tarımsal özellik ve Mali özellik “eşit” derecede öneme sahiptirler.

Mali özelliğin, Biyoetanol özelliğine göre “zayıf” derecede üstün olduğunu ifade eder.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Depolanabilme Süreleri (DS) açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

S26. Şeker Pancarı (ŞP), Buğday (B) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S27. Şeker Pancarı (ŞP), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S28. Şeker Pancarı (ŞP), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S29. Şeker Pancarı (ŞP), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S30. Buğday (B), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S31. Buğday (B), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S32. Buğday (B), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S33. Patates (P), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S34. Patates (P), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S35. Arpa (A), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

[illegible]

Hektar Başına Verim (HBV) açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

S36. Şeker Pancarı (ŞP), Buğday (B) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S37. Şeker Pancarı (ŞP), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S38. Şeker Pancarı (ŞP), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S39. Şeker Pancarı (ŞP), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S40. Buğday (B), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S41. Buğday (B), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S42. Buğday (B), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S43. Patates (P), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S44. Patates (P), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S45. Arpa (A), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

[illegible]

[illegible]

Biyoetanol Verimi (BV) açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

S56. Şeker Pancarı (ŞP), Buğday (B) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S57. Şeker Pancarı (ŞP), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S58. Şeker Pancarı (ŞP), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S59. Şeker Pancarı (ŞP), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S60. Buğday (B), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S61. Buğday (B), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S62. Buğday (B), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S63. Patates (P), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S64. Patates (P), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S65. Arpa (A), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

[illegible]

Biyometanol Üretiminde Tecrübe ve İşleme Özellikleri (BÜTiÖ) açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

S76. Şeker Pancarı (ŞP), Buğday (B) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S77. Şeker Pancarı (ŞP), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S78. Şeker Pancarı (ŞP), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S79. Şeker Pancarı (ŞP), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S80. Buğday (B), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S81. Buğday (B), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S82. Buğday (B), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S83. Patates (P), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S84. Patates (P), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S85. Arpa (A), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

[illegible]

Hammadde Fiyatı (HF) açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

S86. Şeker Pancarı (ŞP), Buğday (B) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S87. Şeker Pancarı (ŞP), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S88. Şeker Pancarı (ŞP), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S89. Şeker Pancarı (ŞP), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S90. Buğday (B), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S91. Buğday (B), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S92. Buğday (B), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S93. Patates (P), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S94. Patates (P), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S95. Arpa (A), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

[illegible]

Enerji Tüketimi (ET) açısından hammaddelerin değerlendirilmesi

S96. Şeker Pancarı (ŞP), Buğday (B) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S97. Şeker Pancarı (ŞP), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S98. Şeker Pancarı (ŞP), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S99. Şeker Pancarı (ŞP), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S100. Buğday (B), Patates (P) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S101. Buğday (B), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S102. Buğday (B), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S103. Patates (P), Arpa (A) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S104. Patates (P), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

S105. Arpa (A), Mısır (M) ile karşılaştırıldığında ne kadar önemlidir?

[illegible]

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	18.11.1981	
Doğum yeri	Eskişehir	
Lise	1995-1999	Balıkesir Ticaret Odası Süper Lisesi
Lisans	2000-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2004-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Müh. Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği