

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE’DE BİYOETANOL ÜRETİMİNDE KULLANIM
POTANSİYELİ OLAN TARIMSAL ATIK MİKTARININ
BELİRLENMESİ

ENES YILMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE’DE BİYOETANOL ÜRETİMİNDE
KULLANIM POTANSİYELİ OLAN
TARIMSAL ATIK MİKTARININ
BELİRLENMESİ

ENES YILMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. MELEK ÖZKAN

GEBZE
2019

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DETERMINATION OF THE
AGRICULTURAL WASTE CAPACITY FOR
BIOETHANOL PRODUCTION IN TURKEY

ENES YILMAZ
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. MELEK ÖZKAN

GEBZE
2019

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/06/2019 tarih ve 2019 /27 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 18/07/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan ENES YILMAZ'ın tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :PROF. DR. MELEK ÖZKAN

ÜYE

:PROF. DR. AYTEN YAZGAN KARATAŞ

ÜYE

:DOÇ. DR. PINAR ERGENEKON

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Bu tez çalışmasında Türkiye İstatistik Kurumu'ndan alınan veriler doğrultusunda Ülkemizdeki biyoetanol üretiminde değerlendirilebilecek tarımsal atık miktarı belirlenmiştir. Üretilen tarımsal ürünlerin miktarları TÜİK'ten temin edilmiş, literatürde verilmiş olan dönüşüm katsayıları kullanılarak bu ürünlerden açığa çıkabilecek atık miktarları hesaplanmıştır. Tarımsal atıklardan biyoetanol üretim verimlerinin hesaplanmasında daha önce yapılmış çalışmalarda elde edilen verim değerleri dikkate alınmıştır. 2017 yılı için toplam atık; tahıl samanı, mısır samanı ve şeker pancarı kalıntısı miktarı sırasıyla 29.5, 4.2 ve 13.7 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Benzine % 5 oranında etanol katıldığında yıllık gereken etanol miktarı 164,25 milyon litre olarak hesaplanmıştır. Farklı proses koşulları biyoetanol üretim verimini etkilemektedir. Lignoselülozik etanol üretim verimi % 25 olarak kabul edildiğinde, 0,64 milyon ton buğday samanının Türkiye'de ulaştırma sektörü için gereken etanol miktarını telafi edeceği tespit edilmiştir. Yatırım maliyeti hesaba katılmadığında, buğday samanından biyoetanol üretim maliyeti 9.1 TL olarak hesaplanmıştır. Lignoselülozik etanol üretimi maliyeti yüksek bir proses olsa da artan petrol fiyatları gelecekte tarımsal atıklardan biyoetanol üretimini gerekli kılabilir.

Anahtar Kelimeler: Biyoenerji, Lignoselülozik Biyoetanol, Tarımsal Atıklar.

SUMMARY

In this thesis, lignocellulosic waste capacity and lignocellulosic bioethanol production potential of Turkey was analysed and evaluated for grain, corn and sugar cane plants. The amounts of agricultural products produced in our country were obtained from TURKSTAT and the amount of waste that could be released was calculated using these data. The yield values obtained from previous studies were used in the calculations. For the year 2017, amount of total wheat straw, corn straw and sugar cane residues were calculated to be 29.5, 4.2, and 13.7 tones, respectively. For obtaining % 5 ethanol-oil blend, 164.25 Million L ethanol is needed per year. The use of different preprocessing methods affect ethanol production yield. When lignocellulosic ethanol production yield is assumed to be % 25, 0.64 million tone wheat residue will compensate the production of required amount of bioethanol for transportation sector in Turkey. Excluding start up, cost of bioethanol production from wheat residues was determined to be 1.57 dolar per liter of bioethanol. Although lignocellulosic bioethanol production is a costly process, trend of increase in oil prices may necessitate the use of sustainable biofuel production from lignocellulosic wastes.

Keywords: Bioenergy, Lignocellulosic Bioethanol, Agricultural Waste.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimimde ve akademik hayatımda ufkumu genişleterek bana yol gösteren, desteğini ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım saygıdeğer Prof. Dr. Melek ÖZKAN'a,

Hayatım boyunca hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, her zaman yanımda olan ve desteğini esirgemeyen annem İlksen YILMAZ, babam Nurettin YILMAZ, kardeşim Merve ÇELEBİ'ye, biricik anneannem Selvi ÖZMEN'e ve kıymetli arkadaşım Neslihan BABACAN'a teşekkürü borç bilirim.

Çalıştığım kurumda her zaman eğitim konusunda desteklerini esirgemeyen kıymetli komiserlerim Gamze MERA ÇEKİN ve Özkan ÖZDEMİR'e, Emniyet Müdürüm Sn. Abdullah TIRPAN'a ve İl Emniyet Müdür Yardımcısı Sn. Nail DUZCU'ya teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. LİTERATÜR	3
2.1. Dünya’da Kullanılan Enerji Kaynakları	3
2.2. Alternatif Enerji Kaynakları	6
2.3. Biyoetanol	7
2.3.1. Biyoetanol üretimi	8
2.3.2. Lignoselülozik Kaynaklardan Biyoetanol Üretimi	9
2.3.3. Lignoselülozik Biyoetanol Üretim Süreçleri	11
2.3.4. Lignoselülozik Atıkların Ön Hidrolizinde Kullanılan Yöntemler	13
2.4. Dünya’da ve Türkiye’de Biyoetanol Üretimi	15
2.4.1. Biyoetanol Üretim Sektöründeki Gelişmeler	16
2.4.2. Türkiye’de Biyoetanol Üretimi ve Kullanımı	18
2.5. Biyoetanol Üretimi İçin Kullanılabilecek Tarımsal Ürünler	20
2.6. Türkiye’de Biyoetanol Üretimi İçin Biyokütle Potansiyeli	23
3. MATERYAL VE METOT	25
3.1. Türkiye’de Üretilen Tarımsal Ürünlerin Miktarlarının Belirlenmesi	25
3.2. Çıkan Atık Miktarının Hesaplanması	26
3.2.1. Buğday	26
3.2.2. Mısır	28
3.2.3. Şeker Pancarı	28
3.3. ETKB Verilerinin Kullanımı	28

3.4. Atıklardan Etanol Üretim Verimlerinin Hesaplanması	30
3.4.1. Buğday	30
3.4.2. Mısır	31
3.4.3. Şeker Pancarı	32
3.5. Tarımsal Atıklardan Biyoetanol Üretim Maliyeti	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1. Türkiye’de Üretilen Toplam ve Kullanılabilir Tarımsal Atık Miktarının Belirlenmesi	36
4.2. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Atık Verileri	38
4.3. Tarımsal Atıklardan Biyoetanol Üretimi	40
4.3.1. Buğday ve Diğer Tahıllar	40
4.3.2. Şeker Pancarı	41
4.3.3. Mısır	42
4.4. Türkiye’nin Biyoetanol İhtiyacı	43
4.5. Etanol Üretim Veriminin Hesaplanması	44
4.6. Biyoetanol Üretim Maliyeti	44
5. SONUÇLAR ve YORUMLAR	48
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	56
EKLER	57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

Kg	: Kilogram
Mg	: Megagram
Tg	: Teragram
Mton	: Megaton; 10 ⁶ ton
MT	: Milyon ton
L	: Litre
ML	: Milyon Litre
GL	: Gigalitre
Galon	3.785411784 Litre
Mtoe	: Milyon Ton Enerji Eşdeğeri
kPa	: Kilopascal
kJ	: Kilojoule
CO ₂	: Karbondioksit
AFEX	: Ammonia Fibre Expansion
AH	: Asit Hidrolizi
AIW	: Tarımsal sanayi atıkları
ARP	: Amonyak Geri Dönüşüm Perkolasyonu
BEPA	: Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası
CBP	: Konsolide Biyoişlem
DA	: Seyreltik Asit
EPDK	: Türkiye Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FPU	: Filter Paper Unit
IL	: İyonik Likit
LHW	: Sıvı Sıcak Su Önışlemi
LMAA	: Low Moisture An Hydrous Ammonia
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü,
PETDER	: Petrol Sanayi Derneği

RFA	: Renewable Fuels Association (Yenilenebilir Yakıtlar Birliği)
SE	: Buhar Patlatma
SEAC	: Asit Katalizörlü Buharla Patlama
SGB	: Second Generation Bioethanol (İkinci Nesil Biyoetanol)
SHF	: Ayrı Hidroliz ve Fermantasyon
SHCF	: Ayrı Hidroliz ve Ko-Fermantasyon
SSF	: Eşzamanlı Sakrifikasyon ve Fermantasyon
SSCF	: Eşzamanlı Sakrifikasyon ve Ko-Fermantasyon
PSSF	: Ön Sakrifikasyon ve Ardından Eş-Zamanlı Sakrifikasyon Ve Fermantasyon
TAPDK	: Tütün ve Alkol Piyasası Düzenleme Kurumu
TARKİM	: Tarımsal Kimya Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
WO	: Islak Oksidasyon İşlemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>	
2.1:	Dünyada yakıt olarak tüketilen en önemli enerji kaynakları.	4
2.2:	Dünya ülkelerinin petrol rezervleri.	4
2.3:	Türkiyenin önemli enerji talepleri.	5
2.4:	Lignoselülozik yapı.	12
2.5:	Ön arıtma prosesinin işlevi.	12
2.6:	Değişik hammaddelerden biyoetanol üretim aşamaları.	13
2.7:	Dünyadaki biyoetanol üretiminin dağılımı.	15
2.8:	Avrupa Birliği'nde biyoetanol üretimindeki artış.	16
2.9:	Buğday samanı kullanım alanları.	21
2.10:	Farklı iki şehirde samanın kullanım alanlarındaki değişim.	21
2.11:	Türkiye şeker fabrikalarının etanol üretim potansiyeli.	24
3.1:	Türkiye'deki 10 ilin buğday atık miktarı.	29
3.2:	Türkiye'deki 10 ilin mısır atık miktarı.	29
3.3:	Türkiye'deki 10 ilin şeker pancarı atık miktarı.	29
4.1:	Türkiyede illere göre üretilen atık miktarları.	38

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1:	Etanolün kimyasal, termal ve fiziksel özellikleri. 8
2.2:	Biyoetanol ön arıtım işlemleri. 4
2.3:	Türkiye biyoetanol üretim, tüketim ve ihracat miktarları. 19
2.4:	Dünyada bulunan önemli tarımsal atıklar ve biyoetanol üretim potansiyeli. 22
3.1:	2016/2017 için TÜİK ten alınan tarımsal ürün miktarları. 26
3.2:	Buğday atık miktarının hesaplanmasında kullanılan dönüşüm oranları. 25
3.3:	Türkiye'nin önde gelen tarımsal atıkları ve etanol üretimi amacıyla kullanılabilirlikleri. 27
3.4:	Ön arıtma yöntemlerine göre giriş-çıkış parametreleri. 30
3.5:	Ön arıtma yöntemlerine göre dönüşüm katsayıları. 31
3.6:	Olası en iyi teknolojilerin performans tahminine göre sekiz farklı önışlem sonucu mısır kalıntılarından üretilen etanol miktarları. 32
3.7:	Şeker pancarından elde edilen glikoz ve etanol miktarları. 33
3.8:	Şeker pancarından glikoz ve etanol dönüşüm oranları. 33
3.9:	Buğday samanından biyoetanol üretim maliyeti. 35
4.1:	Türkiye'de toplam tahıl ve buğday için atık miktarı ve dönüşüm katsayıları. 37
4.2:	Türkiye'de mısır- şeker pancarı için atık miktarları ve dönüşüm katsayıları. 37
4.3:	Türkiye'de üretilen toplam tarımsal atık miktarları. 39
4.4:	Türkiye'deki tarımsal ürünlerin Atık/Ürün bazındaki dönüşüm katsayıları. 39
4.5:	Tahıl atıklarından biyoetanol üretimi. 41
4.6:	Enzim kullanımının biyoetanol üretimine katkısı. 41
4.7:	Şeker pancarı atıklarından biyoetanol üretimi. 42

4.8:	Olası en iyi teknolojiler kullanıldığında farklı önişlemler sonucu mısır kalıntılarında üretilen etanol miktarları.	42
4.9:	Türkiye’de buğday samanından biyoetanol üretim maliyeti.	45

1. GİRİŞ

21. yüzyılda bilim dünyasında en çok tartışılan konular enerji mevcudiyeti ve üretimi ile ilgilidir. Nüfus artışı ve küresel ekonomik büyüme nedeniyle enerjiye olan ihtiyacın artması, düşük CO₂ emisyonu talebi ile çakışmaktadır; bu durum fosil yakıtlara olan güvenimizin azalmasına neden olmaktadır [Moioli et al., 2018]. Gıda güvenliği, su kıtlığı ve toprak kullanımı endişesi gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır ve bu hususlar enerji üretimi ve kullanımı ile yakından ilgilidir. Enerji, besin ve su arasındaki sıkı bağlantı genel olarak su-besin-enerji neksusu olarak ifade edilmektedir [Sanders, 2015]. Son zamanlarda, karar mercileri yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi konusuna olan teşviği artırmışlardır. Bu merciler biyo-yakıtları CO₂ emisyonunu azaltmak için iyi bir fırsat olarak görmektedirler. Gerçekten de düşük yaşam döngü süresine sahip hammaddeden üretildikleri için biyo-yakıtlar fosil yakıtlarla kıyaslandığında enerji üretimindeki CO₂ emisyonunu azaltabilir [Bentsen and Felby, 2012], [Da Costa et al., 2010], [Campbell et al., 2008], [Dornburg et al., 2010]. Aynı zamanda, biyoyakıt üretimi birçok ülkenin kendi lokal enerji üretim talebini de artırabilir [Amineh and Crijns-Graus, 2014], [Thöne et al., 2009], [Favero and Pettenella, 2014]. Bununla birlikte, yenilebilir bitkilerin enerji üretimi için hammadde olarak kullanılması gıda üretimi ile doğrudan rekabet içindedir, bu rekabet su ve arazi yönetimini etkileyen önemli bir faktördür [Harvey and Pilgrim, 2011].

Nışastalı gıdalardan ve şekerden biyoetanol üreten birinci nesil etanol üretiminde ortaya çıkan gıda-yakıt çelişkisi nedeniyle bitkilerin yenilebilir olmayan ve bol miktarda atılan kısımlarının hammadde olarak kullanımı gündeme gelmiştir [Hu et al., 2008]. Ancak, lignoselülozik atıklardan biyoetanol üretimi günümüz petrol fiyatları ile kıyaslandığında halen yeterince ekonomik değildir [Hendriks and Zeeman, 2009], [Hu et al., 2008].

Türkiye'nin önemli enerji taleplerinden biri % 28 ile petroldür. Yenilenebilir enerji talebi ise sadece % 4'tür. Türkiye'de tarımsal faaliyetler istenen düzeyde olmasa da özellikle tahıl üretimi açısından zengin bir ülkedir. Şeker pancarı, mısır ve diğer tarım ürünleri de dikkate alındığında biyokütle enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Ülkemizin petrol rezervlerinin kısıtlılığı farklı enerji kaynaklarına yönelmeyi bir zorunluluk haline getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından

biri olan tarımsal atıklardan biyoetanol üretimi gerek atıkların değerlendirilmesi gerekse alternatif enerji üretimi açısından bakıldığında gelecek vadeden üretim teknolojilerinden biridir.

1.1. Tezin Amacı Katkısı ve İçeriği

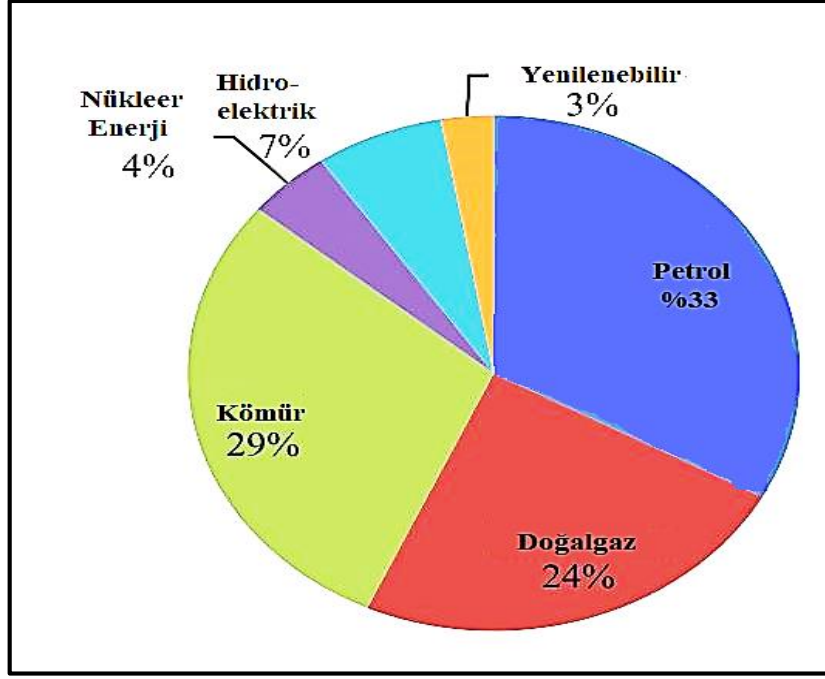
Bu tez çalışmasında Türkiye’de üretilen başlıca tarımsal ürünlerden çıkan yıllık atık miktarları Türkiye İstatistik Kurumun’dan alınan ürün miktarlarından yararlanılarak hesaplanmış, aynı zamanda Enerji Bakanlığına bağlı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü web uygulamasında her il için verilmiş olan atık miktarları dikkate alınarak Türkiyenin biyoetanol üretiminde değerlendirilebilecek atık potansiyeli belirlenmiştir. Ayrıca farklı önışlemler uygulandığında bu atıklardan üretililecek biyoetanol miktarları hesaplanmıştır. Türkiye’de benzin-etanol karışım yakıt için gereken etanolün tarımsal atıklardan üretimi halinde üretim maliyeti hesaplanmış ve lignoselülzoik atıklardan biyoetanol üretimi konusunun Türkiye’de uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR

2.1. Dünya’da Kullanılan Enerji Kaynakları

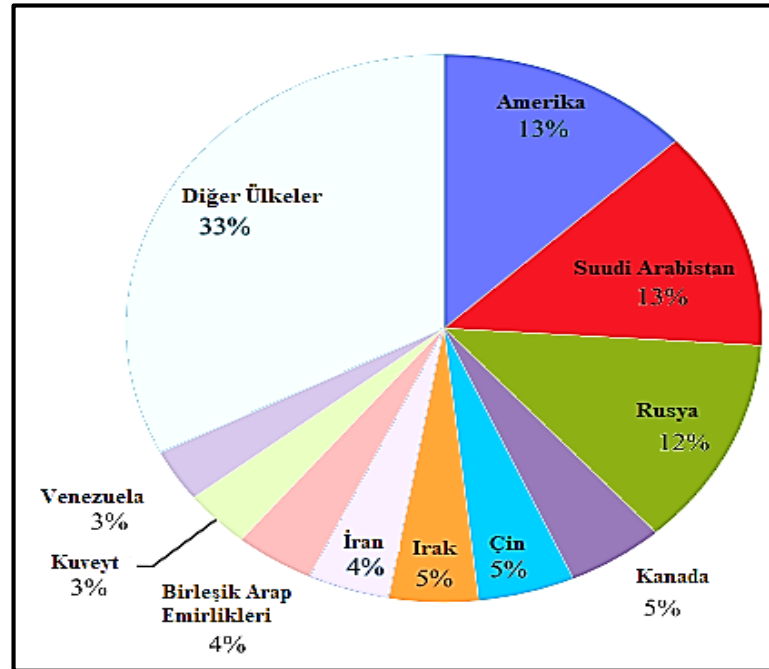
Nüfus artışı ve endüstrinin gelişmesi nedeniyle dünyadaki kaynaklar tükenmekte ve enerji talebi önemli ölçüde artmaktadır. Nüfusun sadece bir nesilde 2 milyar arttığını ve bu artışa en çok gelişmekte olan ülkelerin katkı sağladığı gerçeğinin altını çizmek gerekir. 21. yüzyılın en güncel sorunlarından biri enerji krizinin önlenmesidir. Enerji talebi dünyada artan nüfusun gereksinimlerini karşılayacak şekilde hızla artmaktadır. Dünyadaki her ülkenin pozisyon ve yerlerini sağlamlaştırmak için kendine özgü strateji, plan, politika ve kontrol önlemleri vardır [Shafiee and Topal, 2009]. Dünyanın ve üzerinde yaşayan nüfusun ihtiyacını karşılamada kilit role sahip olan enerji kaynaklarının yönetimi ve planlanması en önemli stratejilerden biridir. Ülkelerin gelişim profili, insanların ekonomik statüsü ve teknolojik gelişmeler gibi faktörler nedeniyle erişilebilir enerji artık insanlara yetersiz gelmektedir. Ayrıca ekosistem, hali hazırda mevcut olan ve dünyanın enerji talebini karşılamak için yaygın olarak kullanılan fosil yakıtların yanmasından kaynaklanan çeşitli gazların emisyonu nedeniyle ağır şekilde kirlenmektedir [Kannan and Vakeesan, 2016]. Enerji kaynağı teminini ve enerji üretimini temel alan planlamanın yerini gelişmiş toplumlarda enerji-ekonomi-ekoloji dengesine özen gösteren planlama anlayışı ile, kaynak çeşitliliğini ve jeopolitik gerçekleri dikkate alan enerji güvenliği modelleri almaya başlamıştır [Bengisu, 2014].

Enerji, teknolojinin ilerlemesi ile birlikte insanoğlunun en büyük gereksinim haline gelmiştir. Şu anda, dünyadaki birincil enerji tüketimini fosil enerji kaynakları oluşturmaktadır (% 85.3, bu değerin % 33.1'i petrol, % 28.1'i kömür ve % 24.1'i gazdır). Hidrolik enerji (% 6.9), nükleer enerji (% 4) ve diğer yenilenebilir enerjiler (% 3.2) küresel manzarayı tamamlamaktadır (Şekil 2.1) [Hache, 2018]. Fosil yakıt rezervlerinin kısıtlı olması her geçen gün fosil yakıtlardan elde edilen enerji kaynaklarının fiyatlarını arttırmaktadır. 1973 yılında Amerika Birleşik Devletleri’ndeki satış fiyatı 0.36 \$/galon (0.095 \$/L) olan benzin bugün aynı ülkede 2.85 \$/galon (0.75 \$/L) seviyesinde satılmaktadır [Web 1].



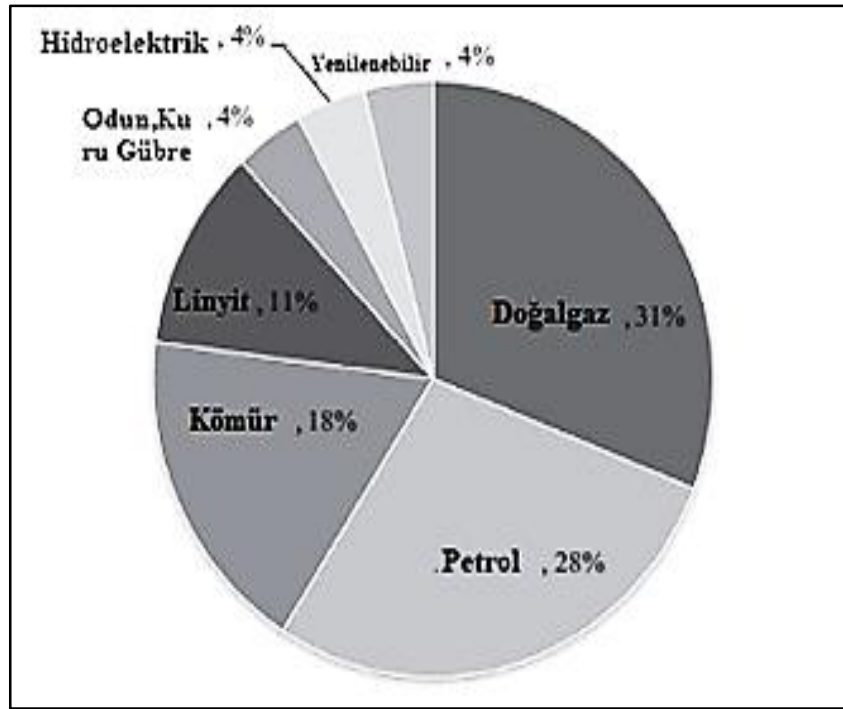
Şekil 2.1: Dünyada yakıt olarak tüketilen en önemli enerji kaynakları.

Şekil 2.2’de Dünya ülkelerinin petrol rezervlerini göstermektedir. Görüldüğü gibi Türkiye bu ülkeler arasında bulunmamaktadır. Bu nedenle Ülkemizin yenilenebilir enerjiye yönelmesi oldukça akılcı bir çözümdür.



Şekil 2.2: Dünya ülkelerinin petrol rezervleri.

Petrol ve doğal gaz, dünyanın geri kalanı gibi Türkiye için de en önemli ve birincil enerji kaynaklarıdır. Ulaşım ve sanayi çoğunlukla bu fosil enerji kaynaklarına dayanmaktadır. Türkiye, 2030 yılında sera gazı emisyonunun 1175'ten 929 milyon ton CO₂'e düşürüleceğini açıklamıştır. Bu yükümlülükler yeni araştırmalar başlatmayı, yenilenebilir ve yerel enerji üretmek için mevcut yöntemleri geliştirmeyi zorunlu hale getirmektedir. Kyoto Protokolü, Türkiye'nin INDC raporu ve Türkiye'deki birincil enerji talebi göz önüne alındığında, fosil enerji kaynakları yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına önem verilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır [Bayrakci Ozdingis and Kocar, 2018]. Şekil 2.3'te görüldüğü üzere Türkiye'nin önemli enerji taleplerinden biri halen % 28 ile petroldür. Yenilenebilir enerji talebi ise % 4 ile en son sıralardadır.



Şekil 2.3: Türkiye'nin önemli enerji talepleri.

2.2. Alternatif Enerji Kaynakları

Alternatif enerji kaynakları bir başka deyişle yenilenebilir enerji kaynakları, fosil enerji ve nükleer enerji kaynakları dışındaki enerji türlerini içermektedir. 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. Yeryüzündeki petrol kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle artan petrol fiyatları ve petrolün kullanımı sonucu açığa çıkan hava kirliliği konusunda hızla gelişen kaygılar yenilenebilir ve çevreye duyarlı alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır. Güneş enerjisi, termonükleer enerji, hidrolik enerji, jeotermal enerji, gelgit ve dalga enerjisi gibi çok sayıda kullanılabilir birincil enerji kaynağı taşıma sektöründe direkt yakıt olarak kullanılamamaktadır [Valdez-Vazquez et al., 2005].

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. Ülkeler için enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğinin sağlanması için üç temel yol vardır. Bunlardan birincisi ve öncelikli olanı, ülkelerin kendi kaynak potansiyelini doğru saptaması ve bunu geliştirerek en uygun biçimde enerjiye dönüştürmesidir. İkincisi, yurt dışındaki kaynakların aranması ve üretilmesi sürecine iştirak etme potansiyelidir. 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 ise, 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].

Biyoyakıtların depolanması ve taşınması diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre çok daha kolay ve basittir. Biyoyakıtların kullanımı direkt olarak günümüzdeki petrol ve doğalgaz altyapısının üzerine oturtulabileceği belirtilmektedir. Bu durum bu alanda yapılacak alt yapı çalışmalarının maliyetini ciddi oranda azaltmakta ve biyoyakıtların kullanımını çok cazip hale getirmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nin 21. yüzyılın başında başlattığı Irak savaşını takiben, petrol fiyatlarında yaşanan ciddi artış, biyoyakıtların küresel olarak üretilmeleri için gerekli olan süreyi kısaltmış ve enerji pazarına hızlı bir şekilde girişlerini sağlamıştır [Güven et al., 2009].

2.3. Biyoetanol

Etanol (C_2H_5OH), birkaç avantajlı özelliğe sahip olması nedeniyle petrol (C_7H_{17}) ile kıyaslandığında umut vaadeden bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Bir litre etanol, aynı miktarda benzin tarafından sağlanan enerjinin % 66'sını vermesine rağmen, etanol (106-110) benzinden (91-96) daha yüksek oktan sayısına sahiptir ki bu da etanol ile harmanlandığı zaman benzinin performansını arttırmaktadır [Nigam and Singh, 2011]. Etanolun daha yüksek oktan etanol seviyesi ve daha kısa yanma süresi daha yüksek bir sıkıştırma oranında yanmasını sağlayarak daha küçük ve yüksek performanslı motorların kullanımına izin verir.

Bunun yanı sıra, etanol ($60^{\circ}C$ 'de 1177 kJ/kg) benzinden ($60^{\circ}C$ 'de 348 kJ/kg) daha yüksek bir buharlaşma entalpisine ve daha yüksek bir laminar alev hızına sahiptir. (sırasıyla benzin ve etanol için 100 kPa ve 325 K'da yaklaşık 33 ve 39 cm/s) [Zabed et al., 2017]. Etanolün buharlaşma ısısının (840 kJ/kg) benzinden (305 kJ/kg) daha yüksek olması, etanol harmanının hacimsel verimliliğinin saf benzinin hacimsel verimliliğinden daha yüksek olmasını sağlar ve böylece güç çıkışı iyileştirir [Lynd, 1996]. Biyoetanol % 34.7 oksijen içerdiği için çevre dostu oksijenli bir yakıttır, oysa benzinde oksijen bulunmaz. Bu, etanolün benzine göre yaklaşık % 15 daha yüksek yanma verimi ile sonuçlanmasını sağlar [Kar and Deveci, 2006]. Böylece partikül ve azot oksit emisyonlarını azaltır. Benzine kıyasla, etanol göz ardı edilebilir miktarda kükürt içerir ve bu iki yakıtın karıştırılması, kanserojen olan ve asit yağmuruna katkıda bulunabilecek sülfür oksit emisyonunun yanı sıra yakıttaki kükürt içeriğini azaltmaya da yardımcı olur [Pickett et al., 2008]. Etanolün özellikleri Tablo 2.1'de listelenmiştir [Acaroğlu vd., 2004].

Tablo 2.1: Etanolün kimyasal, termal ve fiziksel özellikleri.

Biyoetanolün Kimyasal Özellikleri	
Formül	C ₂ H ₅ OH
Moleküler ağırlığı	46.1
Karbon (wt)	% 52.1
Hidrojen (wt)	% 13.1
Oksijen (wt)	% 34.7
C/H oranı	4
Biyoetanolün Termal Özellikleri	
Alt ısı değeri (kcal/kg)	6400
Moleküler ağırlığı	46.1
Tutuşma sıcaklığı (°C)	35
Özgül ısı (kcal/kg°C)	0.6
Erime noktası (°C)	-115
Biyoetanolün Fiziksel Özellikleri	
Özgül ağırlık	0.79 kg/dm ³
Buhar basıncı (38°C)	50 mm Hg
Kaynama sıcaklığı	78.5°C
Dielektrik katsayısı	24.3
Suda çözünme	∞

2.3.1. Biyoetanol Üretimi

Benzine alternatif bir yakıt olan biyoetanol yaygın olarak şekerli ve nişastalı bitkilerin fermantasyonu ile veya selülozik kaynakların asidik hidrolizi ile elde edilir [Karaosmanoğlu, 2005].

Biyoetanol, glukozun maya tarafından fermente edilmesi ile üretilmektedir [Liu and Shen, 2008]. Bu işlem bira [Harrison and Moselio, 2009] ve şarap [Guasch-Jané, 2006] üretimiyle temel olarak aynıdır. Bitkiler ve tahıllar güneş enerjisini kimyasal enerjiye çevirip fotosentez ile bunu temel yapı taşlarına dönüştürmektedir [Leegood et al., 2004]. Glukoz genelde bitkiler ve tahıllarda tek başına bulunmaz bunun yerine polisakkarit olarak nişasta [Bergthaller et al., 2007] veya selüloz [Jarvis and Brian, 2003] olarak saklanır. Bu iki karmaşık karbonhidrat temelde aynı formüle sahiptir (C₆H₁₀O₅)_n ve biyoetanol üretiminin başarı ile gerçekleştirilmesi için bu karbonhidratların glukozu ayrıştırılması gerekmektedir [Amutha and Gunasekaran, 2001], [Demirbas, 2005]. Tahıllardaki monomerlerin ayrıştırılması gıda sanayinde

çok sık kullanılan bir tekniktir ve bu alandaki yapmayı-bilme (know-how) prensipleri oturmuştur [Ben-Gera et al., 1983].

Günümüzde bu işlem enzimatik hidroliz ile sağlanmaktadır. Tahıllardan monomer bakımından zengin bir hidrolizat elde etmek için öncelikle tahıllar bir öğütme işleminden geçirilir burada boyut küçültme ve bitki çeperini parçalayarak aktif yüzey alanını arttırmak hedeflenir [Arifeen et al., 2009]. Bu işlemden sonra tahıllar enzim kullanılarak hidroliz edilir ve hidrolizat denilen monomer bakımından zengin bir karışım elde edilir [Kaparaju et al., 2009]. Buğdaydan biyoetanol üretiminde elde edilecek olan hidrolizat ağırlıklı olarak glukoz ve belli bir oranda amino asitleri içerir. Hidrolizatta, yağ asitleri çok düşük orandadır, çünkü öğütme aşmasında buğday rüşeymi tohumdan ayrılır. Bu yüzden, buğdaydan hidrolizat elde etmek için glukoamilaz ve proteaz içeren bir enzim karışımına ihtiyaç vardır [Botella et al., 2009]. Bu enzim karışımı ya farklı kaynaklardan elde edilir ya da ticari olarak satın alınır [Talebna et al., 2010], [Xu et al., 2010].

Niştastalı gıdalardan ve şekerden biyoetanol üreten birinci nesil etanol üretiminde ortaya çıkan gıda-yakıt çelişkisi gıda güvenliği açısından bakıldığında önemli bir sorundur. Gıda ile rekabeti önlemek amacıyla, tarımsal atıkları ve hızlı büyüyen su bitkilerinin kullanımı da dahil olmak üzere bitkilerin yenilebilir olmayan ve bol miktarda bulunan kısımlarının hammadde olarak kullanımına başlanmıştır [Hu et al., 2008]. Bununla birlikte, lignoselülozik atıklardan biyoetanol üretimi, varolan teknolojileri kullanan günümüz petrol fiyatlarına göre henüz yeterince ekonomik değildir [Hendriks and Zeeman, 2009], [Hu et al.,2008].

2.3.2. Lignoselülozik Kaynaklardan Biyoetanol Üretimi

Lignoselülozik biyokütleden enerji üretimi için yeni teknolojiler arama konusu çevresel kaygıları hafifletmesi nedeniyle Küresel bilim topluluğu tarafından büyük ilgi görmektedir. Biyoetanol, biyohidrojen, biyogaz, biyodizel, biyo-yag, bitkisel yağlar, biyosentetik gaz, biyolojik kömür ve Fischer-Tropsch sıvıları dahil olmak üzere biyoyakıtların hepsi ham maddeden üretilir [Balat, 2010].

Dünyadaki lignoselüloz biyokütlesinin yılda 60 milyar ton olduğu tahmin edilmektedir. Genellikle, lignoselülozik biyokütle dört ana kaynaktan bulunur: (i) tarımsal kalıntılar, (ii) orman kalıntıları, (iii) enerji bitkileri ve (iv) selülozik atıklar [Jouzani and Taherzadeh, 2015]. Agro-endüstriyel biyokütle hem gıda kaynaklı hem

de gıda dışı bitkilerin kısımlarını içeren geniş bir biyokütle kategorisidir. Küresel olarak yetiştirilen başlıca ürünler lignoselülozik biyokütlenin çoğundan sorumlu olan buğday, mısır, pirinç ve şeker kamışıdır. Bu dört mahsul, yılda 5.3 milyon tondan fazla kuru biyokütle üretmektedir [Zaldivar et al., 2001].

Tarımsal-endüstriyel biyokütlenin çoğu hayvanların beslenme stoğu olarak kullanılmaktadır, ancak büyük bir kısmı da tarlalarda yakılmaktadır. 2008 yılında küresel biyoyakıt üretimi yaklaşık 83 milyar litreye ulaşmıştır; bu rakam küresel ulaştırma yakıt tüketiminin % 1.5'ine denk gelmekteydi. 2016 yılında ulaştırma biyoyakıtları, karayolu taşımacılık yakıtları için dünya talebinin % 4'ünü sunarken ABD ve Brezilya en büyük üreticilerdi. Brezilya, Çin ve Tayland şu anda (2018) OECD bölgesi dışındaki en büyük üreticiler olup, toplam üretimin yaklaşık % 40'ını oluşturmaktadır. Biyoyakıt üretiminin beş yıl içinde 159 milyar litreye yükselmesi beklenmektedir [Web 4]. Biyoyakıtların 2030 yılına kadar toplam ulaşım yakıt talebinin kabaca % 9'unu sağlaması beklenmektedir ve geniş kapsamlı bir analiz, biyoyakıtların 2050 yılına kadar toplam nakliye yakıtının % 26'sını sağlayabileceğini, ikinci nesil biyoyakıtların ise tüm biyoyakıtların % 90' ını oluşturabileceğini tahmin etmektedir [Web 5]. Biyoetanol, küresel enerji krizini hafifletmek ve çevresel kaliteyi iyileştirmek için gelecek vaat eden, yenilenebilir ve sürdürülebilir bir biyoyakıttır [Aditiya et al., 2016]. Ulusal olarak uygulanırsa, ikinci nesil biyoetanolün büyük potansiyeli vardır. Mavi Harita Senaryosundaki (2009' da belirtilen Dünya Enerji Görünümünde küresel enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarının 2005 seviyelerine kıyasla 2050 yılına kadar yarıya düşürülmesine yönelik olarak) ikinci nesil biyoyakıt üretiminin yarısından fazlasının OECD üyesi olmayan ülkelerde gerçekleşeceği ve Çin ve Hindistan'ın toplam üretimin % 19'unu oluşturacağı tahmin edilmektedir [International Energy Agency, 2010].

Lignoselülozik biyokütle birkaç gruba ayrılabilir. Bunların arasında, enerji bitkileri (çok yıllık çimlen ve diğer özel enerji bitkileri), su bitkileri (su sümbülü), orman malzemeleri (yumuşak ağaç, sert ağaç, talaş, budama ve kabuk inceltme artıkları), tarımsal artıklar (tahıl samanı, sap ve küspe) ve belediyenin katı atıklarının organik kısmı yer alır. Her bir biyokütle grubu, etanol üretimi için kullanılacak bazı potansiyellere sahiptir. Genel olarak, lignoselülozik biyokütle dünyadaki en bol miktarda bulunan ve umut vaadeden kaynak olarak görünmektedir; hiçbir ek arazi gerekmeksizin gıda ve yem mahsulü üretimine müdahale etmeden etanol üretmek

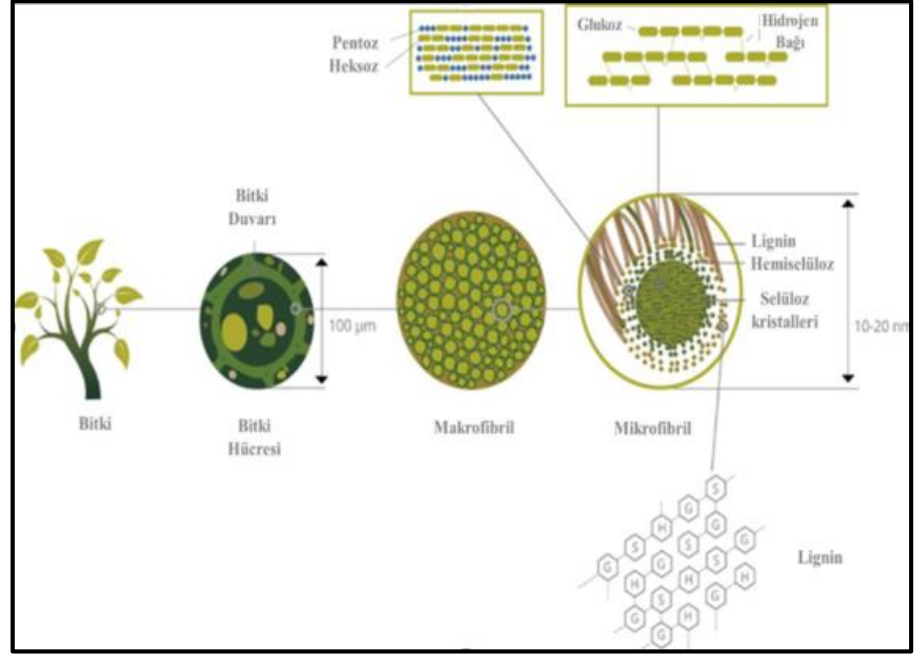
amacıyla kullanılabilir. Bitki biyokütlesinin küresel üretimi yılda 200×10^9 ton/yıl olup, biyoyakıt üretimi için yaklaşık 8×10^9 - 20×10^9 tonu kullanılabilir [Saini et al., 2014], [Kuhad ve Singh, 1993].

Tarımsal kalıntıların çoğu mısır, buğday, pirinç ve şeker kamışı olmak üzere dört ana mahsulden gelirken, diğer kalıntılar toplam dünya biyokütlesine az miktarda katkıda bulunur [Saini et al., 2014].

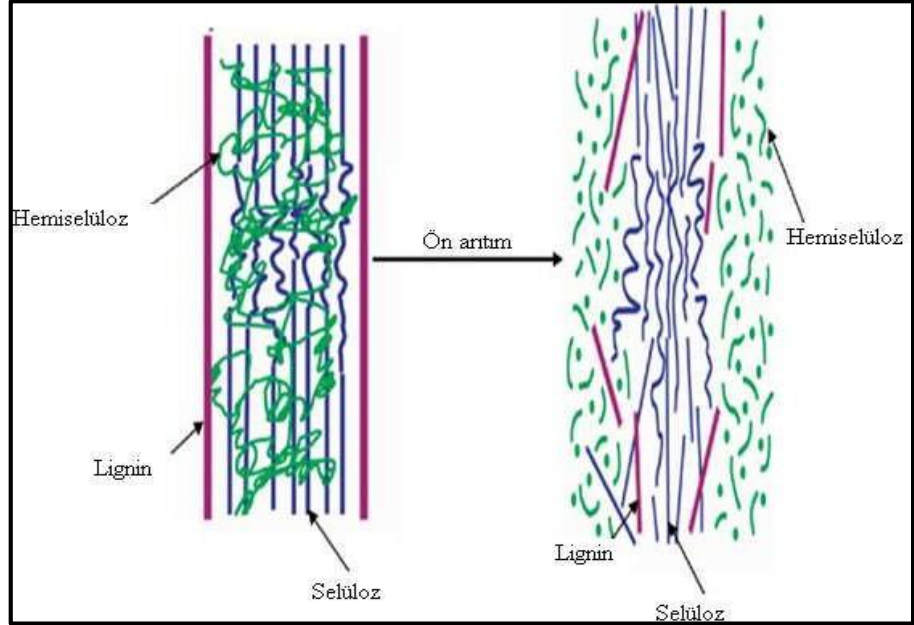
Mısır sapı, biyoetanol için yüksek potansiyele sahip umut vaadeden tarımsal kalıntılardan biridir. Mısır tanelerinin toplanmasından sonraki kalıntılardır ve sap, yaprak, koçan ve kabuklardan oluşmaktadır. Yıllık ortalama mısır sapı üretim hızı 4 t/dönümdür [Kim ve Dale., 2004]. Buğday samanı, yıllık 1-3 ton/dönüm üreten hasat buğdayının kalıntılarıdır. Pirinç samanı, küresel üretim hızı 731 milyon ton/yıl olan, sap, yaprak bıçakları ve yaprak kılıflarını içeren dünyadaki en bol ve gelecek vaat eden biyokütleden biridir [Saini J.K. et al., 2014]. Şeker kamışı küspesi, 317-380 milyon ton/yıl olarak tahmin edilen şeker kamışı işlemlerinden elde edilen ucuz bir kalıntıdır [Sánchez, 2009]. Pirinç ve buğday samanlarının çoğu Asya ülkelerinde üretilirken, mısır saplarının ve küspelerin çoğunluğu sırasıyla Kuzey ve Güney Amerika'da üretilir. [Zabed et al., 2017].

2.3.3. Lignoselülozik Biyoetanol Üretim Süreçleri

Tarımsal sanayi atıklarından (AIW) biyoetanol üretimi ikinci nesil biyoetanol üretimi olarak bilinmektedir. İkinci nesil üretim için çeşitli alternatifler tartışılmıştır. Bunların arasında Ayrı hidroliz ve fermantasyon (SHF), Ayrı hidroliz ve ko-fermantasyon (SHCF), eşzamanlı sakrifikasyon ve fermantasyon (SSF), eşzamanlı sakrifikasyon ve ko-fermantasyon (SSCF), Ön sakrifikasyon ve ardından eş-zamanlı sakrifikasyon ve fermantasyon (PSSF) ve konsolide biyoişlem (CBP) yer alır [Carrillo-Nieves et al., 2019]. Hemiselülozun kısmi ya da tam hidrolizinin ardından selüloz sakrifikasyonunun başarı ile gerçekleştirilmesi için selülozun kristalin yapısının tahrip edilmesi gerekmektedir. Şekil 2.4'te bir bitkinin lignoselülozik yapısı gösterilmiştir. Ön arıtma prosesi sayesinde bu odunsu yapı Şekil 2.5'te gösterildiği gibi çözülür ve enzimatik hidrolize hazır hale getirilir [Kumar et al., 2009].



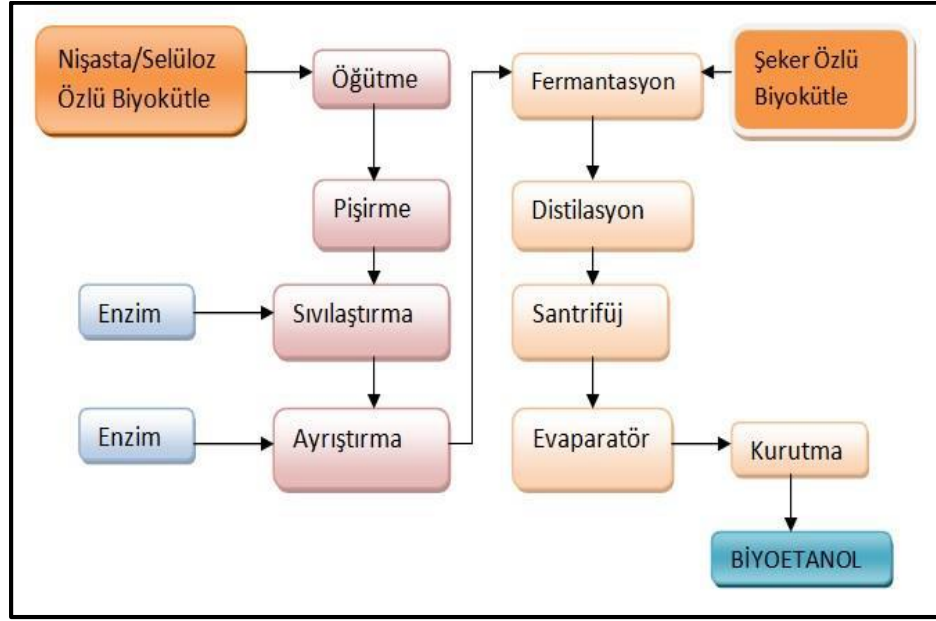
Şekil 2.4: Lignoselülozik yapı.



Şekil 2.5: Ön arıtma prosesinin işlevi.

Lignoselülozik biyokütleden etanol üretmek için dört temel adım vardır; Birinci adım biyokütlenin önışlemleriyle, lignin- hemiselüloz-selüloz karışımını hidroliz için daha uygun bir hale getirmek amacıyla parçalamaktır. İkinci adım selüloz ve

hemiselülozun monomer şekerlere parçalamak için hidroliz yapılmasıdır. Üçüncü adım bu şekerlerin etanole fermante edilmesidir. Son adım ürün geri dönüşümü ve damıtma ile yoğunlaştırılmasıdır [Hu, 2008]. Bu basamaklar Şekil 2.6'da şematize edilmiştir. Üretim sürecinin her adımının üstesinden gelinmesi gereken pek çok sorun vardır. Bu sorunlar arasında önilem, tesisin yatırım maliyetinden sonra biyoetanol sanayisindeki en yüksek maliyete sahip olması nedeniyle önemli bir sorundur [Sousa, 2009], [Shi, 2009], [Tomas-Pejo, 2008].



Şekil 2.6: Değişik hammaddelerden biyoetanol üretim aşamaları.

2.3.4. Lignoselülozik Atıkların Ön Hidrolizinde Kullanılan Yöntemler

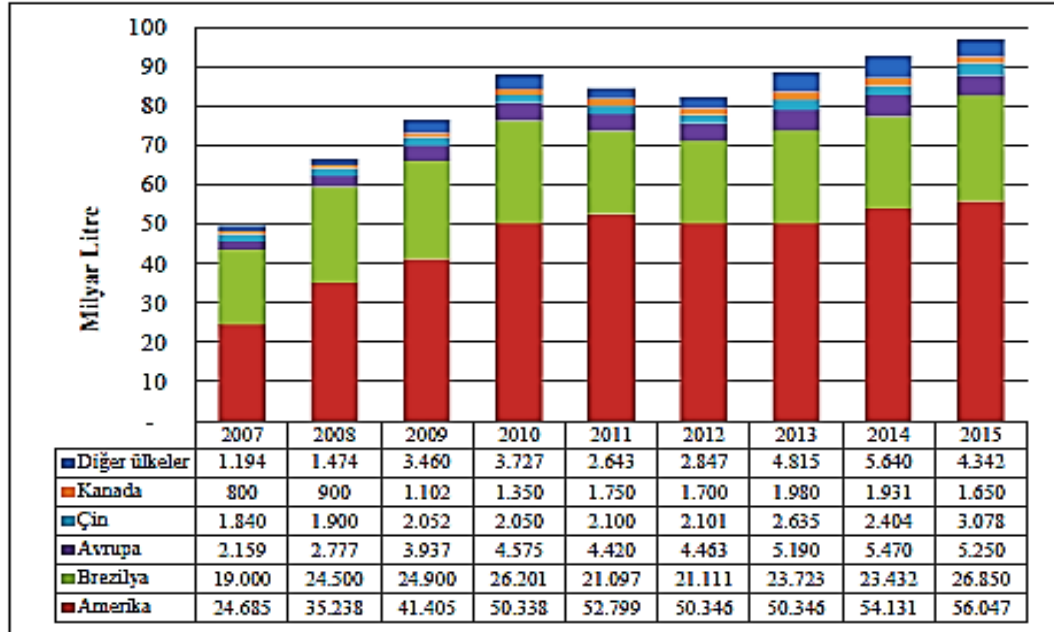
Lignoselülozik atıklardan biyoetanol üretiminin ilk basamağı atığın fiziksel yöntemler kullanılarak küçültülmesi ve sonrasında uygulanan genellikle kimyasal prosesleri içeren ön işlemlerdir. Ön işlemlerin amacı lignoselülozik materyalin yapısında bulunan sertliği sağlayan lignini mümkün olduğunca gidermek ve şeker monomerlerini içeren selüloz ve hemiselülozu daha kolay parçalanabilir hale getirmektir. Ön arıtım yöntemleri ile ilgili detaylı bilgiler aşağıdaki tabloda verilmiştir. Literatürde farklı bitki atıklarından biyoetanol üretimi için farklı hidroliz yöntemleri kullanılmıştır. Tablo 2.2'de bu yöntemlerin uygulama koşulları listelenmiştir.

Tablo 2.2: Biyoetanol ön arıtım işlemleri.

Yöntemler	Prosedürler/Etmenler	Önceden uygulanmış bitki ve malzemeler	Referenslar
I. Fiziksel Yöntemler Mekanik Boyut Küçültme	Parçalama, öğütme, frezeleme	Ahşap, saman, mısır koçanı, yonca, şeker kamışı ve tatlı sorgum küspesi	[Sun and Cheng, 2002]
Piroliz	T> 300 ° C, daha sonra soğutma ve yoğunlaşma	Odun, Atık pamuk, mısır koçanı	[Khiyami et al., 2005]
II. Fiziko-kimyasal yöntemler Buhar patlama	160-290 ° C'de doymuş buhar, birkaç saniye veya dakika boyunca p = 4.85 MPa'da işlem, daha sonra dekompresyon.	Kavak, titrek kavak, okaliptüs, yumuşak odun, mısır sapı, buğday samanı, pirinç samanı, arpa samanı	[Ballesteros et al., 2001], [Ballesteros et al., 2002], [Ballesteros et al., 2004], [Hamelinck et al., 2005], [Lynd et al., 2002], [Soderstrom et al., 2005], [Sun and Cheng, 2002]
Sıvı sıcak su (LHW)	Basınçlı sıcak su, p > 5 MPa, T = 170-230 ° C, 1-46 dak; katı madde yükü < % 20	Mısır koçanı, zeytin özü, yonca lifi	[Ballesteros et al., 2002], [Koegel et al., 1999], [Lynd et al., 2002]
Amonyak lifi patlaması (AFEX)	1-2 kg amonyak/kg kuru biyokütle, 90 ° C, 30 min, p = 1.12-1.36 MPa	Aspen ahşap talaşı buğday samanı, arpa samanı, pirinç kabuğu, mısır koçanı, gazete kağıdı	[Lynd et al., 2002], [Sun and Cheng, 2002]
CO ₂ patlaması	4 kg CO ₂ /kg fiber, p = 5.62 MPa	Geri dönüştürülmüş kağıt	[Sun and Cheng, 2002]
Ozonoliz	Ozon, oda sıcaklığı ve basınç	Kavak, talaş, çam, küspe, buğday samanı, pamuk samanı,	[Sun and Cheng, 2002]
Seyreltik asit hidrolizi	% 0.75-5 H ₂ SO ₄ , HCl veya HNO ₃ , p = 1 MPa; düşük katı yükler için sürekli işlem (ağırlıkça % 5-10 substrat/ karışım); T = 160-200 ° C; yüksek katı yükler için parti işlemi (% 10-40 substrat / karışım); T = 120-160 ° C	Kavak ahşap bagasse, mısır koçanı, buğday samanı, çavdar samanı, pirinç kabukları,	[Hamelinck et al., 2005], [Lynd et al., 2002], [Sun and Cheng, 2002], [Wooley et al., 1999]
Konsantre asit hidrolizi	% 10-30 H ₂ SO ₄ , 170-190 ° C, 1: 1,6 katı-sıvı oranı % 21-60 perasetik asit, silo tipi sistem	Kavak talaşı	[Cuzens and Miller, 1997]
Alkalin hidrolizi	NaOH, 24 saat, 60 ° C seyreltme; Ca(OH) _{2,4}	Sertağaç, küspe, mısır özü, düşük lignin içeren payetler (% 10-18), baston	[Hamelinck et al., 2005], [Kaar and Holtzapple, 2000], [Lynd et al., 2002], [Saha and Cotta, 2008], [Sun and Cheng, 2002]
Organosolv işlemi	Organik çözücüler (metanol, etanol, aseton, etilen glikol, trietilen glikol) veya bunların % 1 H ₂ SO ₄ veya HCl ile karışımları; 185-98 ° C, 30-60 dk, pH = 2,0-3,4	Kavak ağacı karışık yumuşak ağaç (ladın, çam,)	[Lynd et al., 2002], [Pan et al., 2005], [Sun and Cheng, 2002]
III. Biyolojik Arıtım Mantarla ön arıtım	Kahverengi, beyaz ve yumuşak çürüklüklü mantarlar; Biyokütlenin katı hal fermentasyonu ile selüloz ve hemiselüloz üretimi	Mısır koçanı, buğday Samanı	[Sun and Cheng, 2002]
Biorganosolv işlemi	2-8 hafta <i>Ceriporiopsis subvermispora</i> 2 saat 140-200 ° C'de etanoliz	Kayın Ağacı	[Itoh et al., 2003]

2.4. Dünya’da ve Türkiye’de Biyoetanol Üretimi

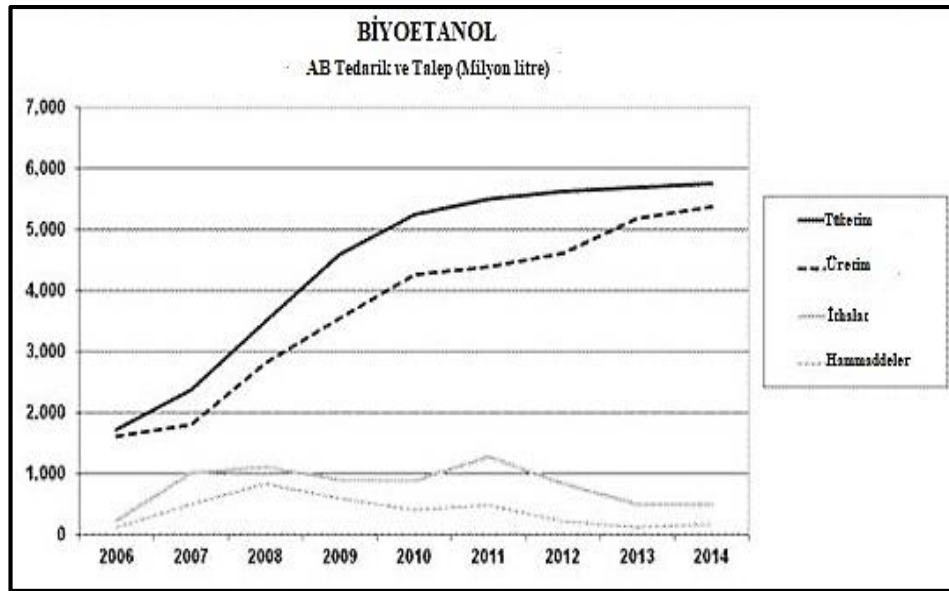
Küresel ölçekte biyoyakıtlar içerisinde en yaygın olarak kullanılan yakıt biyoetanoldür. Bunun ana sebebi de Brezilya ve ABD’deki büyük miktarlardaki biyoetanol üretimidir. Mısırdan üretilen biyoetanol 1980’lerin başından beri ABD’de taşıt yakıtı olarak kullanılmaktadır ve günümüzde ABD’de yıllık 24 milyar litrenin üzerinde üretimi yapılmaktadır. Ülkelerin biyoetanol üretimi Şekil 2.7’de grafik halinde gösterilmiştir [RFA, 2016]. Brezilya’da ise şeker kamışından biyoetanol üretimi 1975 yılında başlamıştır. Üretim 1997 yılında 15 milyar litreye ulaşmıştır. Fakat daha sonra değişen politik amaçlar nedeni ile 2000 yılında 11 milyar litreye düşmüştür. Brezilya’da bu yıldan sonra biyoetanol üretimi tekrar yükselişe geçmiştir. Brezilya’da satılan benzine hacimsel olarak % 22 ile % 26 arasında biyoetanol katılabilmektedir veya saf olarak kullanılabilir [Schmitz et al., 2002].



Şekil 2.7: Dünyadaki biyoetanol üretiminin dağılımı.

Yapılan araştırmalar biyoetanol ve biyodizelin petrole alternatif olarak taşıma sektöründe kullanımının mümkün olduğunu göstermektedir. AB komisyonunun 2007 yılında aldığı kararlar doğrultusunda 2020 yılına kadar üye ülkelerinde taşıtlarda kullanılan yakıtın toplam enerji değerinin minimum % 10 oranında biyoyakıt ile

desteklenmesi gerekmektedir. Ancak bu yenilenebilir yakıtların yaygın olarak kullanılmaları birim satış fiyatlarının benzin ve dizel fiyatlarından daha ekonomik olmasıyla mümkündür. Şekil 2.8’de Avrupa Birliği ülkelerindeki biyoetanol üretimindeki artışı göstermektedir. Biyoetanol üretimi 2010 yılından önce hızlı bir şekilde artarken 2010 yılından sonra duraksama yaşanmıştır. 2008, 2009 ve 2010 yıllarında yıllık yaklaşık 700-1.000 milyon litrelik artış olurken, 2011 ve 2012’de yalnızca 100-250 milyon litre artış olmuştur. Bu durağanlığın en önemli nedenlerinden birisi biyoetanol üretiminin halen yeterince ekonomik olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle ekonomik yenilenebilir yakıt üretimi amacıyla yeni teknolojiler ve prosesler geliştirilmektedir [Brown, 2009]. Biyoyakıtların içerisinde biyoetanolün, benzine eşdeğer yapıda olduğu için, enerji ve taşımacılık pazarından en büyük payı alacağı tahmin edilmektedir [Demirbaş, 2009].



Şekil 2.8: Avrupa Birliği’nde biyoetanol üretimindeki artış.

2.4.1. Biyoetanol Üretim Sektöründeki Gelişmeler

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. Daha sonra Henry Ford hem benzinle hem de etanolle çalışabilen esnek bir araç modeli ortaya koymuştur. ABD’nin ham petrolü ucuz bir şekilde benzine dönüştürmesi ile etanolün araç yakıtı olarak kullanımının önü

kesilmiştir. İkinci Dünya Savaşı sırasında biyoetanol askeri araçlarda az da olsa yakıt olarak kullanılsa da savaştan sonra etanole endüstriyel çözelti ve alkollü içki olarak ihtiyaç duyulmuştur.

Biyoetanol üretiminde ve kullanımında öncü ülkelerden biri olan Brezilya, petrol krizinin etkisi ile 1975 yılında Ulusal Alkol Programı'nı (Proalcool) oluşturmuştur. Brezilya alkolle çalışan araçların fiyatlarını benzinle çalışanların fiyatlarının % 65'i olacak şekilde belirleyerek, alkolle çalışan araçlar için vergileri düşük tutarak bu sektörün gelişmesini sağlamıştır. Biyoetanol sektöründeki tekel kaldırılmış ve fiyatlar esnek bırakılmıştır. Brezilya'da biyoetanol üretim miktarları hükümet tarafından kontrol edilmektedir. Her yıl resmi emir ile benzin-biyoetanol karışım oranları belirlenmektedir [Schmitz vd., 2002]. Brezilya Hükümeti benzindeki alkol oranını Temmuz 2003'te % 25'e çıkarılmıştır. 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 1980'lerin başında bazı alkol fabrikalarını yakıt alkolü üretebilecek şekle dönüştürmüştür. ABD çapındaki çiftçiler de gelişen endüstrinin ihtiyacı olan mısırı sağlayarak bu pazara dahil olmuşlardır. Ancak ABD'nin biyoetanol hammaddesi olan mısırın fiyatlarındaki dalgalanmalar ve petrolün fiyatının düşmesi biyoetanol üretiminin fazla gelişmemesine yol açmıştır. 1990 yılında ortaya konulan bir kanunla (The Clean Air Act) emisyon değerlerinde iyileştirme hedeflenmiş ve biyoetanol kullanımı tekrar yükselişe geçmiştir.

Biyoetanol üretimi tesisler ve bu tesislerde kullanılan teknolojilerden de etkilenmektedir. ABD'deki üretim tesislerinin inşaa maliyetleri 1980'lerin başından günümüze yarı yarıya azalmıştır. 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 [Web 6]. Otomasyon sistemlerinin gelişmesi de insane duyulan ihtiyacı azaltarak sektörün gelişmesine katkıda bulunmuştur.

Biyoetanol üretimi sürecinde kritik rol oynayan selülaz enzimleri üzerinde yapılan çalışmalar da üretim teknolojisinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Gelişen teknoloji, son 25 yılda enzim maliyetlerinin % 70'den fazla düşmesine yol açmıştır. Ayrıca hidroliz ve fermentasyon proseslerinde yaşanan önemli gelişmeler de gözardı edilemez. Sıvılaştırma, sakkarifikasyon, fermentasyon gibi alanlarda yapılan araştırmalar sayesinde tarım ürünleri ve lignoselülozik atıklardan biyoetanol üretim verimlerinde artış sağlanmıştır.

2.4.2. Türkiye’de Biyoetanol Üretimi ve Kullanımı

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 biyoetanol 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].

Türkiye Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK), AB çevre kriterlerine uyum sağlamak amacıyla 2013 yılından itibaren araçlarda kullanılan yakıtlara her yıl yakıt içerisindeki oranını arttırmak üzere biyodizel ve biyoetanolün katılımının zorunlu hale getirileceğini açıklamıştır. 1 Ocak 2013’den itibaren benzine % 2 yerli tarımsal ürünlerden elde edilmiş biyoetanol katılması zorunlu kılınmış, bu oranın 1 Ocak 2014 tarihinde en az % 3’e çıkarılması hedeflenmiştir. Petrol Sanayi Derneği (PETDER) tarafından yapılan hesaplamalar benzine % 2 oranında yerel etanol ilave edildiğinde ithalatla benzine giden yaklaşık 203 milyon Türk Lirasının Türkiye’de kalacağını göstermektedir. Ancak Türkiye’de 2010 yılında tüketilen benzin ve motorin miktarları dikkate alındığında (2.1 milyar litre benzin ve 4.9 milyar litre motorin) ihtiyaç duyulan biyoetanol miktarının karşılanabileceği kurulu bir kapasite bulunmamaktadır.

Türkiye’de günlük 100.000 litrenin üzerinde etanol üretimi gerçekleştirebilen 2 büyük tesis bulunmaktadır. Türkiye’deki toplam biyoetanol üretiminin % 60’ını sağlayan Konya Şeker Fabrikasının 2007 yılında kurduğu tesisler günlük 280 bin, yıllık 84 milyon litre biyoetanol üretimi gerçekleştirebilecek kapasiteye sahiptir ve bu tesislerde hammadde olarak şeker pancarı kullanılmaktadır.

Türkiye’de mısırdan biyoetanol üretimi gerçekleştiren TEZKİM Tarımsal Kimya A.Ş. 2008 yılında faaliyete geçmiştir ve günde 250 ton mısır kullanarak 100 bin litre biyoetanol üretimi gerçekleştirebilmektedir.

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 [Web 7-10], [Bulut, 2006].

Avrupa Birliği'nde biyoyakıt üretimi için ciddi destekler 2003/30/EC ve 2003/96/EC direktifleri kabul edildikten sonra ortaya çıkmıştır. Bu direktiflere göre biyoyakıt kullanım referans değerleri 2010 için % 5.75'tir. Bu direktiflere göre biyoyakıtlardan alınacak gümrük kesintileri ve vergilerin azaltılmasına izin verilmiştir (Çağatay et. al, 2012). 2009/28/EC'de ise 2020 yılından itibaren AB'deki taşımacılık sektöründe kullanılan yakıtlarda % 10 biyoyakıt kullanılması hedeflenmektedir.

Türkiye'de, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından 27/09/2011 tarih ve 28067 sayılı Resmî Gazete yayımlanan Tebliğ ile, piyasaya akaryakıt olarak arz edilen benzin türlerinin yerli tarım ürünlerinden üretilmiş etanol içeriğinin; 01/01/2013 tarihi itibarıyla en az % 2, 01/01/2014 tarihi itibarıyla ise en az % 3 olması zorunlu hale getirilmiştir. Dünyadaki uygulamalara bakıldığında, % 2 ve % 3'lük harmanlama oranları, dünyanın çoğu ülkesinde uygulanan zorunlu harmanlama oranlarına göre çok düşük kalmakla birlikte, yine de bu konunun mevzuata girmesi ve Türkiye'de uygulanmaya başlaması önemli bir aşamadır.

Tütün ve Alkol Piyasası Düzenleme Kurumu'ndan (TAPDK) alınan verilere göre; Türkiye biyoetanolünün üretim, tüketim ve ihracat miktarları Tablo 2.3'te verilmiştir. Zorunlu harmanlama oranıyla birlikte, 2012 ve 2013 yılları tüketim miktarında doğal olarak çok büyük bir artış olmuş, ihracat azalmıştır (Akalin ve Seyrekbasan, 2015).

Tablo 2.3. Türkiye biyoetanol üretim, tüketim ve ihracat miktarları.

	2011	2012	2013
Üretim (Milyon litre)	52.3	63.2	63
Tüketim (Milyon litre)	11.0	11.1	54.7
İhracat (Milyon litre)	29.6	33.4	6

Akalın ve Seyrekbasan 2015 yılında yayınlamış oldukları çalışmalarında Türkiye’deki tarımsal ürünlerden biyoetanol üretimini değerlendirmişlerdir. Günümüzde ülkemizde tarımsal atıklardan etanol üretimi gerçekleştirilmektedir. Dünyadaki çalışmalar da pilot ölçektedir ve lignoselülozik atıklardan biyoetanol üretimi henüz ticarileşmemiştir.

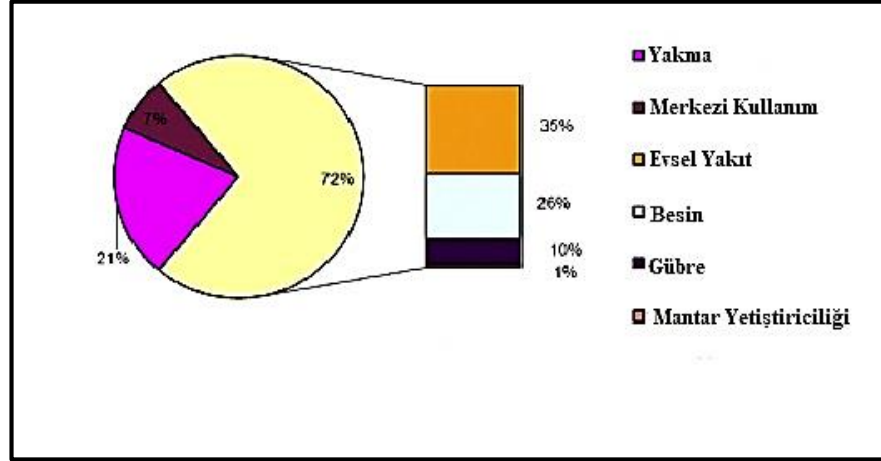
2.5. Biyoetanol Üretimi İçin Kullanılabilecek Tarımsal Ürünler

Biyoetanol, içerisinde belli miktarlarda şeker bulunan veya nisasta ve selüloz gibi şekere dönüştürülebilecek madde içeren her türlü biyolojik hammaddeden üretilir. Nişasta veya şeker içeren arpa, buğday, mısır vb. tahıl ürünleri, şeker pancarı, şeker kamısı, 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.

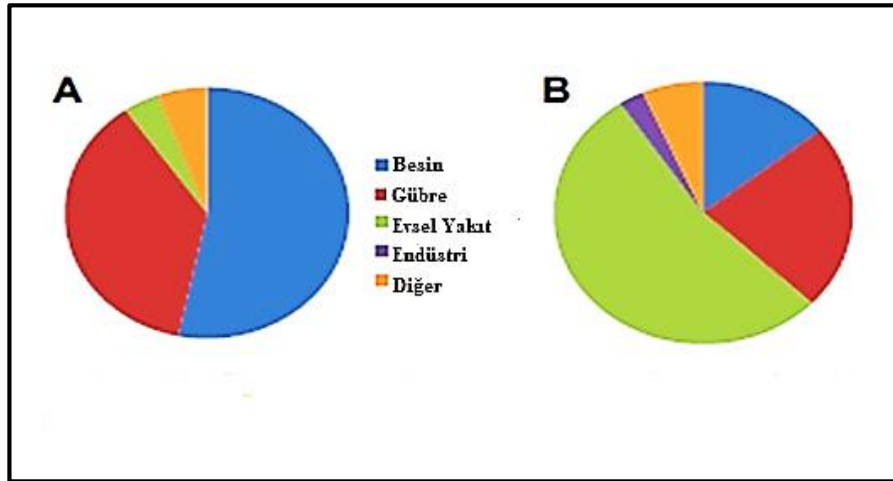
Tarladaki buğday tortusunun tamamen çıkarılması, topraktaki organik maddeleri azaltabilir ve toprak erozyonuna neden olabilir. Tarlada bırakılması gereken buğday samanının oranı, hava durumuna, ekin rotasyonuna, mevcut toprak verimliliğine, toprağın eğimine ve toprak işleme uygulamalarına bağlıdır [Kerstetter and Lyons, 2001]. Kim ve Dale’e (2004)’e göre, toprak erozyonunun önlenmesini sağlamak için, hektar başına yaklaşık olarak 1.7 Mg (Megagram) buğday kalıntısının bırakılması gerekmektedir. Buğdayın küresel ortalama verimi yaklaşık 2.4 Mg ha⁻¹’dir ve sonuç olarak, yaklaşık 120 GL (Gigalitre) biyoetanol üretimi için yıllık olarak yaklaşık 430 Tg (Teragram) buğday samanı mevcuttur. Bu etanol hacmi, hacimsel enerji içerikleri ve oktan sayıları arasındaki farklar göz önüne alındığında, yaklaşık 93 (± 3) GL benzinin yerini alabilir [Otero et al., 2007].

Sanayi tabanındaki çeşitlilik, kaynaklar, yaşam koşulları ve diğer faktörler nedeniyle, saman farklı alanlarda farklı şekilde kullanılmaktadır. Şekil 2.9’da Çin örnek olarak verilmiştir. Bu verilerden de görüldüğü gibi buğday samanı yakma, besin, gübre gibi farklı amaçlar için de değerlendirilebilmektedir. Şekil 2.10’da ise yine Çin’in farklı iki şehrinde kullanım amaçlarının ne derece değişebildiği görülmektedir. Örneğin; Şekil 2.10’da gösterilen Taiyuan bölgesi, nispeten fazla miktarda kömür kaynağına sahiptir, bu nedenle samanın bu bölgede yakıt olarak

kullanımı düşüktür; samanın sadece % 4'ü evsel yakıt, % 90'ı ise yem ve gübre olarak kullanılır. Bölgesel farklılıkların merkezi kullanımdaki etkisi, merkezi olmayan kullanımdan daha önemlidir, çünkü merkezi kullanım kaynaklar ve trafik için daha yüksek gereksinimlere sahiptir. Örneğin, yine Çin örneğinde var olan samandan enerji üreten çoğu tesis, diğer illerden ziyade daha iyi sanayi üssü ve trafik koşullarına sahip doğu illerinde kurulmuştur [Li et al., 2014].



Şekil 2.9: Buğday samanı kullanım alanları.



Şekil 2.10: Farklı iki şehirde samanın kullanım alanlarındaki değişim.

%90'ından fazlası lignoselüloz olan küresel bitki biyokütle üretimi, yılda yaklaşık $8-20 \times 10^9$ ton potansiyel erişilebilir, primer biyokütle ile yaklaşık 200×10^9 ton/yıl civarındadır [Kuhad ve Singh, 1993]. Lignoselülozik madde, çıktı/girdi enerji

oranı, bulunabilirliği, düşük maliyeti ve daha yüksek etanol verimleri dikkate alındığında etanol üretimi için hammadde olarak ümit verici bir seçeneği temsil eder.

İkinci nesil biyoyakıt üretimi için, yenilenebilir biyokütle kaynaklarının kullanımı dünyada büyük önem kazanmıştır. Yenilenebilir “bitki biyokütlesi”, özellikle bitkilerden elde edilen ucuz ve bol miktarda bulunan gıda olarak kullanılmayan, lignoselüloz bakımından zengin malzemeleri içerir.

Lignoselülozik tarımsal atıklar ana bileşen olarak selüloza sahiptir, ancak kimyasal bileşimleri önemli ölçüde değişmektedir. Başlıca tarımsal ürünlerin küresel üretimi ve bunların biyoetanol üretim potansiyelleri Tablo 2.4'te gösterilmektedir [Saini et. al., 2015]. Maksimum pirinç samanı ve buğday samanı Asya'da üretilir ve mısır samanı ve şeker kamışı torbası esas olarak Amerika'da üretilir. Bir tahmine göre, yıllık yaklaşık 442 milyar litre biyoetanol üretmek için lignoselülozik biyokütle kullanılabilir ve eğer toplam mahsul artıkları ve boşa harcanan mahsuller de dikkate alınırsa, üretim 491 milyar litreye çıkarılabilir. Bu rakam fiili küresel üretimden yaklaşık 16 kat daha fazladır [Kim and Dale, 2004], [Sarkar et. al., 2012]. Yalnızca ABD’de, biyoetanol üretimi için toplam 1.368 MT (milyon ton) biyokütle mevcuttur; bu miktarın çoğu 428 MT ile tarımsal atıklara aittir. Ormancılık atıkları, enerji bitkileri, tahıllar ve mısır, belediye ve sanayi atıkları biyokütleye katkıda bulunan diğer atıklardır [Perlack et al., 2005], [USDOE Biomass Program, 2009], [RFA, 2010].

Tablo 2.4: Dünyada bulunan önemli tarımsal atıklar ve biyoetanol üretim potansiyeli.

Tarımsal atıklar	Dünyadaki atık miktarı (Milyon Ton)	Tahmini biyoetanol üretim potansiyeli (GL)
Buğday samanı	354.34	104
Pirinç samanı	731.3	205
Mısır atığı küspesi	128.02	58.6
Şeker pancarı küspesi	180.73	51.3

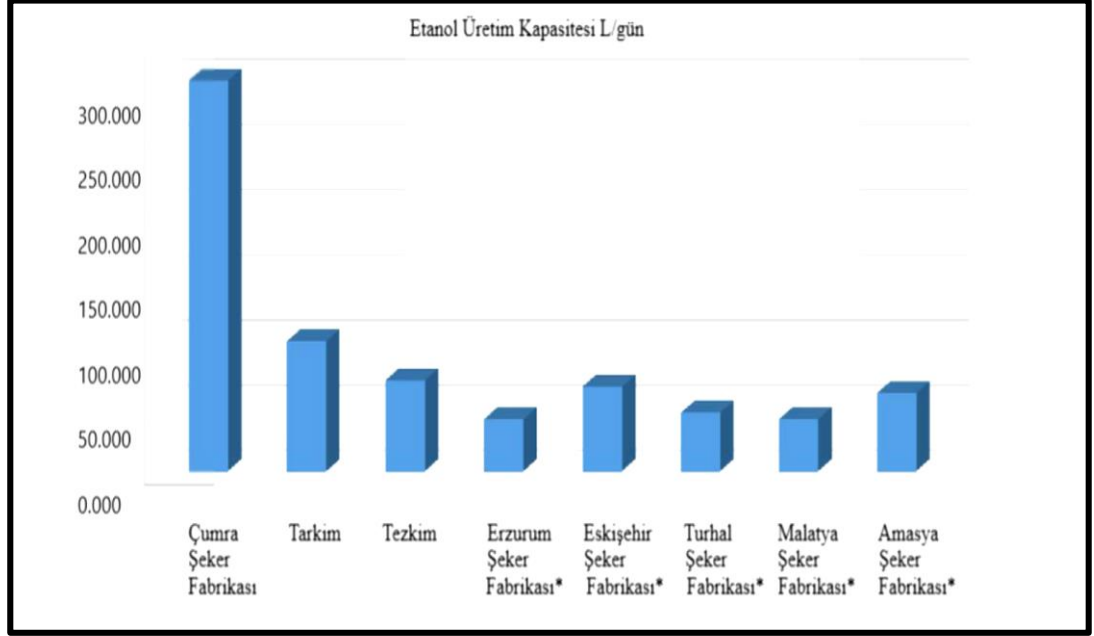
Mısır, buğday, pirinç ve şeker kamışı, tarımı yapılan alanın yanı sıra maksimum üretimi olan dört tarım ürünüdür. Bu dört mahsul, tarım sektöründe lignoselülozik biyokütlenin çoğunun üretilmesinden sorumludur ve agrowastların geri kalanı, dünyadaki toplam agrowaste üretiminin sadece küçük bir kısmını oluşturur. Mısır

çekirdeği, mısır çekirdeği toplandıktan sonra tortunun üzerinde kalır ve sapları, yaprakları, koçanı ve kabukları içerir. Yıllık üretimi yaklaşık 1 kg/kg mısır tanesi veya 4 ton/dönümdür [Kim ve Dale, 2004], [Heaton ve ark., 2008], [Cheng ve Timilsina, 2011]. Buğday tanesi hasadı sırasında, zorlu tarım koşulları altında, yılda 1-3 ton/dönümlük bir oranda saman üretilir. Pirinç samanı, pirinç üretiminin artıklarıdır ve sapları, yaprak bıçaklarını, yaprak kılıflarını ve harmandan sonra salkım kalıntılarını içerir. Dünyadaki en bol lignoselülozik atık malzemelerden biridir. Yıllık 731 milyon ton pirinç samanının yıllık küresel üretiminin 667,6 milyon tonundan yalnızca Asya sorumludur. Önemli bir tarımsal atık olan şeker pancarı küspesi ise şeker kamışı işlenmesi sırasında yüksek miktarlarda üretilir.

2.6. Türkiye’de Biyoetanol Üretimi İçin Biyokütle Potansiyeli

Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyelinin yaklaşık 32 Mtoe (milyon ton enerji eşdeğeri) olduğu unutulmamalıdır. Türkiye'de kullanılabilir biyokütle potansiyelinin miktarı yaklaşık 17 Mtoe'dir [Balat, 2005]. Türkiye'deki ikinci nesil biyoetanol (SGB) üretim süreci ve optimizasyonu birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. [Demirbaş, 2007], lignoselülozik malzemelerin, biyokimyasal veya kimyasal ve termokimyasal kullanarak, indirgen şekerler, furfural, etanol ve diğer ürünler gibi katma değerli kimyasalların üretimi için potansiyel bir kaynak olduğunu belirtmiştir. [Balat et al., 2008], toplam biyoetanol üretim maliyetini azaltmak için tahıl yerine lignoselüloziklerin kullanılmasını önermiştir. [Balat, 2009], mısır ve pirinç samanı, şeker pancarı küspesi, sivri ot ve kentsel katı atıklar gibi selüloz içeren hammaddelerinden biyoetanol üretiminin önemini vurgulamış ve üretim maliyetinin %80'e kadarının ham madde maliyeti olduğunu bildirmiştir. [Arslan and Eken-Saraçoğlu, 2010] çalışmalarında hem lignoselülozik biyoetanol üretimi hem de uygulanan ön işlemlerin etkilerini analiz etmişlerdir. [Isçi, 2012], Türkiye'de toplam lignoselülozik biyokütlenin yılda 6.10 GL'ye kadar biyoetanol üretebileceğini öne sürmüştür. Potansiyel biyoetanol üretiminin, E85 yakıtında orta büyüklükte bir binek araç için düşünüldüğünde, yılda 4.39 GL'lik benzinin yerini alabileceği belirtilmiştir. Biyokütleden biyoetanol üretiminde şeker fabrikalarının rolü büyüktür.

Şekil 2.11’de, Türkiye’deki farklı şeker fabrikalarında günlük üretilebilecek etanol miktarını yansıtmaktadır. Şeker fabrikalarında açığa çıkan melastan dolayı biyoetanol üretim potansiyeli oldukça yüksektir.



Şekil 2.11: Türkiye şeker fabrikalarının etanol üretim potansiyeli.

3. MATERİYAL VE METOT

3.1. Türkiye’de Üretilen Tarımsal Ürünlerin Miktarlarının Belirlenmesi

Dünyada en fazla üretilen ve en geniş tarım alanına sahip tarımsal ürünler arasında mısır, buğday, pirinç ve şeker kamışı bulunmaktadır. Bu dört mahsul, tarım sektöründe açığa çıkan lignoselülozik biyokütlenin çoğunun kaynağıdır. Buğday hasadı sırasında, zorlu tarım koşulları altında, yılda 1-3 ton/dönümlük bir oranda saman üretilir. Mısır kalıntıları mısır taneleri toplandıktan sonra açığa çıkan sap, koçan, yaprak ve kabukları içeren kalıntılardır. Yıllık üretimi yaklaşık 1 kg/kg mısır tanesi veya 4 ton/dönümdür [Kim ve Dale, 2004], [Heaton ve ark., 2008], [Cheng ve Timilsina, 2011].

Pirinç samanı, pirinç üretiminin artıklarıdır bununla birlikte ürünün sapları; yaprak bıçaklarını, yaprak kılıflarını ve harmandan sonraki salkım kalıntılarını içerir. Pirinç samanı dünyadaki en bol lignoselülozik atıktan biridir. Yıllık 731 milyon ton pirinç samanının 667.6 milyon tonunu Asya üretir. Şeker pancarı işlenmesinden sonra bol miktarda şeker pancarı küspesi üretilir [Saini et. al., 2015].

Bu tez kapsamında Türkiye’de buğday, arpa, pirinç gibi hububatlar ile mısır ve şeker pancarı ürünlerinden açığa çıkan lignoselülozik atık miktarları ve bu atıkların etanol üretim potansiyeli tespit edilmeye çalışılmıştır. Ülkemizde üretilen tarım ürünlerinin yıllık üretim miktarları TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu)’ndan talep edilmiştir.

Tez kapsamındaki hesaplamalarda sadece tahıllar, şeker pancarı ve mısırın yıllık üretim ve ekili alan değerleri kullanılmıştır (Tablo 3.1). Diğer bitkilere ait veriler ve ithalat ve ihracat değerlerinin de bulunduğu detaylı tablo Ekler kısmındadır.

Tablo 3.1: 2016/2017 için TÜİK ten alınan tarımsal ürün miktarları.

Ürünler	Üretim (Ton)	Ekilen Alan (Hektar)
Tahıl (Toplam)	34.361.164	11.349.212
Arpa	6.700.000	2.740.052
Buğday (Toplam)	20.600.000	7.671.945
Buğday (Diğer)	16.980.000	6.433.273
Buğday (Durum)	3.620.000	1.238.672
Mısır	6.400.000	680.019
Şeker pancarı	20.028.316	3397

3.2. Çıkan Atık miktarının hesaplanması

3.2.1. Buğday

Buğday (*Triticum aestivum* L.) dünyanın en çok üretilen tahılı olup 115 ülkede çok çeşitli çevresel koşullarda üretilmektedir. Geçtiğimiz yüzyılda buğday veriminde artış olmuş, 2008 yılında dünyada toplam üretilen yıllık buğday miktarı 650 Tg (teragram (10^{12} gram) veya megaton) olarak raporlanmıştır [Atwell, 2001]. Kalıntı/ürün oranı 1,3 olarak kabul edildiğinde yıllık 850 Megaton buğday atığı açığa çıkmaktadır [Talebniya et al., 2010]. Buğday hasat edilirken buğday saplarının tamamen temizlenmesi arazinin verimini düşürerek erozyona neden olabilir. Bu nedenle ürüne ve diğer şartlara da bağlı olarak buğday saplarının belirli bir kısmının tarlada bırakılması gerekmektedir [Kerstetter and Lyons, 2001]. Kim ve Dale'e (2004) göre toprak erozyonunun önlenmesi için arazi yüzeyinin % 60 oranında buğday sapı büyükütlesi ile örtülü olması gereklidir. Dolayısıyla atığın tamamı hasatlanamaz ve yaklaşık 1.7 Mg/ha buğday atığının tarlada bırakılması gerekebilir. Dünyada global buğday üretimi yaklaşık 2.4 Mg (ton)/hektar olarak rapor edilmektedir. Tarlada bırakılması gereken atık miktarı çıkarıldığında yıllık yaklaşık olarak 430 Megatonluk buğday sapı atığı biyoetanol üretimi için değerlendirilebilir (850 megatonluk buğday sapı atığının 430 megatonunu kullanılabilir olarak kabul edilmiştir). Tez kapsamında TÜİK'ten alınan veriler kullanılarak yıllık buğday ürünü 1.3 dönüştürme oranı ile

çarpılarak toplam atık miktarı hesaplanmıştır. Talebnia ve ark. (2010) tarafından kullanılabilir atık/toplam atık 430/850 olarak verilmiş ve dönüştürme oranı 0.506 olarak hesaplanmıştır. Kullanılabilir bitkisel atık miktarının hesaplanması için toplam atık miktarı 0.506 dönüştürme oranı ile çarpılmıştır. Başka bir ifade ile atığın % 50.6'sı kullanılabilir olarak kabul edilmiştir. Toplam buğday ürünü miktarı $1.3 \times 0.506 = 0.66$ dönüşüm oranı ile çarpıldığında yıllık kullanılabilir buğday samanı miktarı hesaplanabilir. Tablo 3.2'de buğday atığı için kullanılan dönüşüm oranları tez kapsamında diğer tahıllar için de kullanılmıştır.

Tablo 3.2: Buğday atık miktarının hesaplanmasında kullanılan dönüşüm oranları.

Dönüşüm oranları		
Atık/ürün	Kullanılabilir atık/atık	Kullanılabilir atık/ürün
1.3	0.506	0.66

Kullanılabilir atık miktarının hesaplanmasında farklı kaynaklar da dikkate alınmıştır. Aşağıdaki tabloda (Tablo 3.3) farklı atıklar için 2006 yılında çıkan toplam atık ve etanol üretimi amacıyla kullanılabilir atık miktarları verilmiştir [Öztürk ve Başçetinçelik, 2006]. Bu tabloya göre biyoetanol üretiminde kullanılabilecek buğday atığı miktarı sadece % 15 civarındadır. Öte yandan mısır için bu değer % 60 civarındadır.

Tablo 3.3: Türkiye'nin önde gelen tarımsal atıkları ve etanol üretimi amacıyla kullanılabilirlikleri.

Ürün	Atık Türü	Toplam atık (ton)	Kullanılabilir atık (ton)	Kullanılabilirlik (%)
Buğday	Sap	23.429.907	3.514.489	15
Arpa	Sap	8.963.012	1.344.452	15
Mısır	Sap	4.970.259	2.982.155	60
	Koçan	1.907.307	1.144.384	60
Pamuk	Sap	2.520.281	1.512.169	60
Ay çiçeği	Sap	2.259.121	1.355.472	60

Tez kapsamında yukarıdaki dönüştürme oranları da kullanılarak lignoselülozik atıklardan etanol üretim verimleri hesaplanmıştır. Buna göre buğday için kullanılabilir atık miktarının hesaplanması için iki dönüşüm oranı kullanılmıştır:

- 1- 0,66 [Talebna et al., 2010]
- 2- 0,15 [Öztürk ve Başçetinçelik, 2006]

3.2.2. Mısır

Mısır kalıntılarının yıllık üretimi yaklaşık 1 kg/kg mısır tanesi veya 4 ton/dönüm olarak verilmiştir [Kim ve Dale, 2004], [Heaton ve ark., 2008], [Cheng ve Timilsina, 2011]. Buna göre ürün miktarından atık miktarının hesaplanması için dönüşüm katsayısı 1 olarak alınmıştır. Kullanılabilirlik oranı ise Öztürk ve Başçetinçelik'in (2006) çalışmalarında verilen tabloya göre 0.6 olarak alınmıştır.

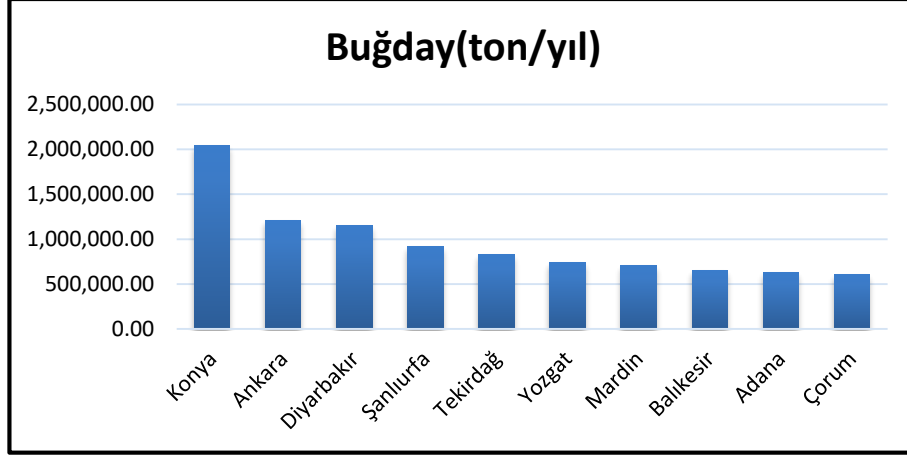
3.2.3. Şeker Pancarı

Şeker pancarı için TÜİK verilerindeki yıllık üretim miktarlarından tahmini olarak yıllık açığa çıkan atık miktarı hesaplanmıştır. Dönüşüm katsayısı olarak mısır için verilen değerler kullanılmıştır. Atık/ürün katsayısı olarak 1, kullanılabilirlik katsayısı olarak 0.6 değerleri dikkate alınmıştır.

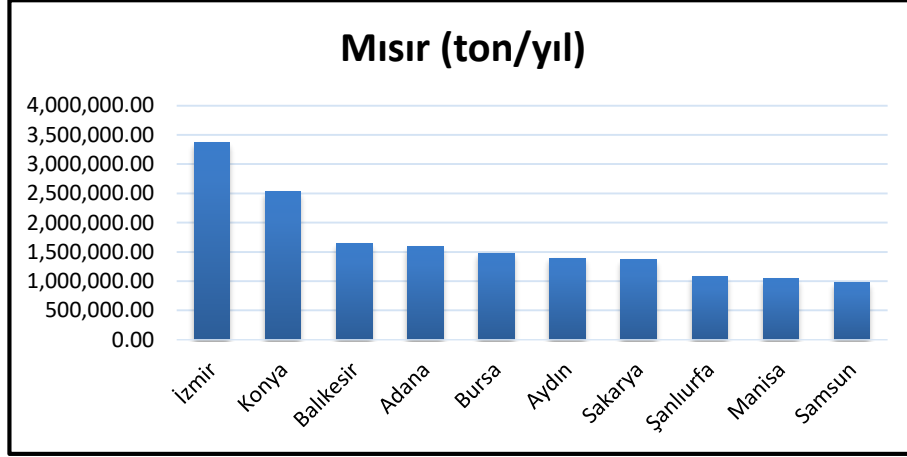
3.3. ETKB Verilerinin Kullanımı

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel müdürlüğünün oluşturmuş olduğu BEPA (Biyokütle enerjisi potansiyeli atlası) web uygulamasında Türkiye'deki tüm iller için ve tüm tarımsal ürünlerin ve bu ürünlerden çıkan atık miktarları listelenmiştir. Bu tez kapsamında atık miktarlarının hesaplanmasında yukarıda anlatıldığı şekilde literatürde verilen teorik dönüşüm oranları kullanılmıştır. Ayrıca, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verileri kullanılarak da Türkiye'nin tüm illerindeki atık miktarları hesaplanmıştır. Tüm iller için buğday, mısır ve şeker pancarı için il bazında verilen atık miktarları toplanarak Tüm Türkiye çapında çıkan atık miktarları tespit edilmiştir.

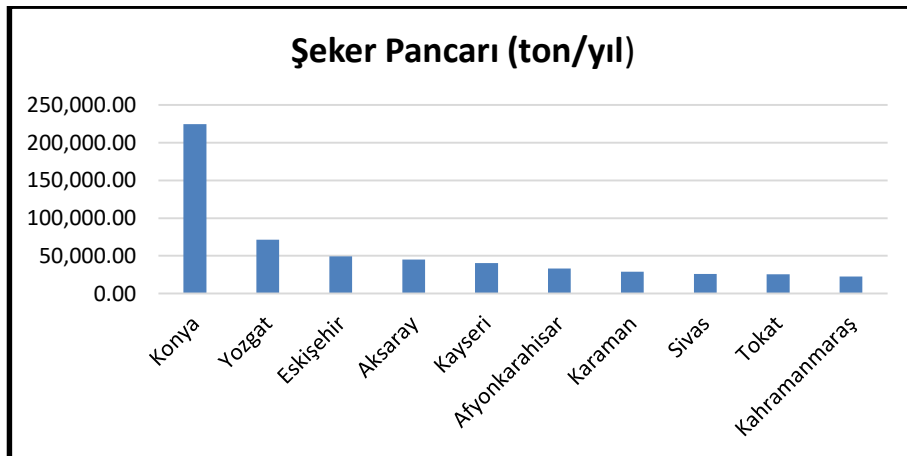
ETKB verilerine göre Türkiye'deki 10 ilin buğday, mısır ve şeker pancarı atık miktarı Şekil 3.1-3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Türkiye’deki 10 ilin buğday atık miktarı.



Şekil 3.2: Türkiye’deki 10 ilin mısır atık miktarı.



Şekil 3.3. Türkiye’deki 10 ilin şeker pancarı atık miktarı.

3.4. Atıklardan Etanol Üretim Verimlerinin Hesaplanması

3.4.1. Buğday

Buğday atıklarından etanol üretim veriminin hesaplanmasında Lei et. al. (2013) tarafından yapılan “*Environmental sustainability of bioethanol production from wheat straw in the UK*” başlıklı çalışmada verilen ön işlemler sonucu elde edilen verim değerleri kullanılmıştır. Bu derlemede aşağıdaki ön arıtım koşullarına ilişkin sonuçlar bulunmaktadır ve Tablo 3.4’te giriş çıkış parametreleri verilmiştir.

a. Katalizörsüz buhar patlaması (SE): buğday samanı, atık su arıtmasından (WWT) geri dönüştürülen proses suyuyla karıştırılır ve yüksek basınçlı buharla (13 atm) 100°C’ye ısıtılır ve daha sonra yüksek basınçla 180°C’ye ısıtılır.

b. Asit katalizörlü buharla patlama (SEAC): SE’ye benzer, ancak % 0.9 (ağırlık / ağırlık) konsantrasyonunda seyreltik sülfürik asit ilavesi içerir. Blöf tankından sonra, akış hidrolizatın sakrifikasyon için uygun bir pH’a nötralize edilmesi için amonyak ilave edilir.

c. Seyreltik asit (DA): 121°C ‘lik bir sıcaklıkta 90 dakika boyunca sülfürik asitle (%2 a/h) ön işlem.

d. Sıvı sıcak su ön işlemi (LHW): Buğday samanı su ile karıştırılır ve 188°C’de 40 dakika bekletmeden önce 100°C’ ye ısıtılır.

e. Islak Oksidasyon işlemi (WO): 12 bar’da sıkıştırılmış O₂, 180°C’de 15 dakika bekletilmeden önce buğday samanı ve suyun önceden ısıtılmış (100°C) karışımına enjekte edilir.

Yukarıda bilgisi verilen ön işlem metodlarının uygulanması sonucu aşağıdaki tabloda verilen miktarlarda etanol üretimi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.4: Ön arıtma yöntemlerine göre giriş-çıkış parametreleri.

	DA	SEAC	SE	LHW	WO
Giriş: Buğday Samanı, katı, kg/saat	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333
Çıkış: Bioethanol, kg/saat	18.838	20.927	18.368	19.517	17.105

Lei et al., (2013)'na göre hesaplanan dönüşüm katsayıları Tablo 3.5'te verilmiş olup, dönüşüm katsayıları bu değerler üzerinden hesaplanmıştır.

Tablo 3.5. Ön arıtma yöntemlerine göre dönüşüm katsayıları.

	DA	SEAC	SE	LHW	WO
Biyoetanol (kg/saat)/Buğday Samanı (kg/saat)	0.226	0.251	0.22	0.234	0.205

Lei et al. (2013) makalesinde verilen etanol üretim verimlerinin yanısıra Talebnia ve arkadaşlarının (2010) çalışmasında verilen değere göre de hesaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmaya göre 430 Megaton (Mton) buğday atığından 120 Gigalitre (GL) etanol üretilebileceği varsayılmıştır. Bu oran atığın yaklaşık %28 oranında biyoetanole dönüştürülebileceği anlamına gelmektedir. Bu dönüşüm oranı iyimser bir varsayım olarak tez kapsamında kullanılmıştır. Hacimsel enerji içeriği ve oktan sayısı dikkate alınırsa 120 GL etanol 93 GL petrole eşdeğerdir [Otero et al., 2007]. Buğday sapları için bulunan dönüşüm katsayıları diğer tahıllar için de kullanılmıştır.

3.4.2. Mısır

Zhao et. al., (2018) tarafından yapılan çalışmada, mısır bitkisi tarımsal atıklarından etanol üretimi için kullanılan sekiz farklı ön işlem uygulamasının sonuçları bulunmaktadır. Bu ön işlemler sonucu elde edilen etanol üretim oranları Tablo 3.6'da verilmiştir. Temel olarak ön işlemler buhar patlatması, asit hidrolizi, enzimatik hidroliz, mantar ile ön işlemler gibi yöntemleri içermektedir.

S1-Asit: Öncelikle seyreltik sülfürik asit ön işlemi, zaman zaman hidroklorik asit ve organik asit ön işlemini kullanılabilir. Ön işlemde geçirilmiş mısır atığı enzimatik hidrolize ve daha sonra suyla yıkandıktan sonra fermantasyona tabi tutulmuştur. Enzimatik hidroliz ve suyla yıkama işlemleri tüm proseslerde uygulanmıştır.

S2-Alkali: Öncelikle sodyum hidroksit ön işlemi, bazen kalsiyum hidroksit ve kalsiyum karbonat ile ön işlem yapılmıştır.

S3-Solvent bazlı: İyonik likit (IL) ve/veya organik çözücü (OS) ön işlemi.

S4-Buhar patlatması: katalizörsüz buhar patlatması.

S5-Sıvı sıcak su: Katalizörsüz sıkıştırılmış sıcak su veya hidro termal ön işlem.

S6-Amonyak bazlı: Öncelikle amonyak lifi genişmesi (ammonia fibre expansion AFEX), zaman zaman düşük nemli sulu amonyak (low moisture an hydrous ammonia LMAA) ve amonyak geri dönüşüm perkolasyonu (ARP).

S7-Mantarlar ile önışlem: Ön işlem için çeşitli mantar türleri kullanılır.

S8-Kombi: Çeşitli fiziksel, kimyasal ve termokimyasal ön işlem kombinasyonları.

Teorik olarak mısır atıklarının ortalama bileşimi tüm ön işlem, hidroliz ve fermentasyon işlemlerinin %100 etkili olması durumunda glukoz (% 36.2) ve ksilan (% 22.7) olacak şekildedir. Bu şekerlerin fermentasyonu ile elde edilebilecek etanol oranları sırasıyla % 20.6 ve % 13.1'dir. Yani mısır atıklarından elde edilebilecek maksimum etanol üretim verimi %33.7 dir. Fermentasyonla ilgili verilerde, farklı mikroorganizma kullanımı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmemiştir. Genellikle glukozun % 80-100 oranında etanole dönüştüğü görülmüştür [Zhao et al., 2018].

Tablo 3.6: Olası en iyi teknolojilerin performans tahminine göre sekiz farklı önışlem sonucu mısır kalıntılarında üretilen etanol miktarları.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Toplam Etanol Üretimi	23.1	27.0	26.3	25.7	23.2	30.6	18.7	26.5
Etanol üretimi için Dönüşüm katsayısı	0.23	0.27	0.26	0.26	0.23	0.31	0.19	0.26

3.4.3. Şeker Pancarı

Oviedo et. al., (2018) tarafından yapılan çalışmada "*Comparison of two pretreatments methods to produce second-generation bioethanol resulting from sugarcane bagasse*" makalesinde bulunan veriler ışığında, Tablo 3.7 ve 3.8 oluşturulmuştur. Bu çalışmada etanol hesaplanan etanol üretim verimleri aşağıdaki ön işleme metodları uygulandığında elde edilmiştir.

a. Buhar Patlatması (Steam Explosion (SE)) ön işlemi: Viola et al., (2013) tarafından önerilen yöntemdir. Şeker kamışı posaları 19.6 kilowatt 'lık bir alev borulu kazanından ve 0,03 ton/saat'lik bir akıştan tedarik edilen doymuş buhar

ile 6,9 barlık basınçla işlem görür. Distile su ile yıkanan ön-muamele görmüş malzeme filtre edilir ve kalan katı kalıntı enzimatik hidroliz için kurutulmuştur.

b. Asit hidrolizi (AH): Jackson de Moraes Rocha et al., (2011) tarafından açıklanan metoda dayanılarak gerçekleştirilmiştir. Şeker kamışı posa numuneleri sülfürik asit çözeltisi ile (% 10), 1:30 (w/v) (ağırlık/hacim) numune/çözelti oranında karıştırılarak 100°C'de 60 dakika asit hidrolizi gerçekleştirilmiştir. SE ön işleminde olduğu gibi, her bir hidrolizat süzülüp yıkandıktan sonra kurutulup enzimatik hidroliz için kullanılmıştır.

Dönüşüm katsayıları şeker pancarı küspesinden etanol üretimi için iki farklı ön işlem metodunun kıyaslandığı makalede elde edilen etanol üretim verimleri kullanılarak hesaplanmıştır. Tablodaki işlemler sonucunda elde edilen kuru atığın 15 FPU enzim ile hidrolizi sonucu elde edilen glukoz ve 48 saatlik fermentasyon sonucunda elde edilen etanol miktarı verilmiştir.

Tablo 3.7: Şeker pancarından elde edilen glikoz ve etanol miktarları.

Atık miktarı	Asit Hidrolizi (AH)		Buhar Patlatma (SE)	
	Glukoz (mg/g ds)	Etanol (mg/ml)	Glukoz (mg/g ds)	Etanol (mg/ml)
1 g	203.89	58.7	257.87	87.16

Tablo 3.8: Şeker pancarından glikoz ve etanol dönüşüm oranları.

	Asit Hidrolizi (AH)	Buhar Patlatma (SE)
Glukoz→Etanol	0.27	0.34
ds→Etanol (ds:kuru katı atık)	0.059	0.087

3.5. Tarımsal Atıklardan Biyoetanol Üretim Maliyeti

Tarımsal atıklardan biyoetanol üretim maliyeti atığın çeşidi, atığın tarla çıkış değeri, etanol üretim tesisinin büyüklüğü, üretim verimi ve yatırım maliyetleri gibi anahtar parametrelere bağlıdır. Buğday samanı için yıllık 200 milyon litre üretim kapasitesi olan bir tesisin yatırım maliyeti ve üretim maliyeti Tablo 3.9’da verilmiştir. [Gnansounou and Dauriat, 2010]. Bu maliyet hesabı [Wooley et al., 1996] verilmiş olan ideal bir biyoetanol üretim prosesine göre yapılmıştır. Bu proseste atık öncelikle küçük parçalara ayrılır, daha sonra seyreltik sülfürik asit ile ön işleme tabi tutulur. Hidrolizat ve diğer inhibitör maddelerden ayrıştırıldıktan sonra hidrolizatın bir kısmı selüloz enzimlerini üretmek amacıyla kullanılır, kalan kısmına ise üretilen selüloz enzimleri eklenerek selülozun glukozla parçalanması sağlanır. Enzimatik hidroliz sırasında hemiselülozdan açığa çıkan şekerlerden ve selülozdan açığa çıkan glukozdan fermentasyon yapılır. Enzimatik hidroliz ve C5 ve C6 şekerlerin fermentasyonu aynı reaktörde gerçekleşir (SSCF: Same vessel saccharification and co-fermentation). % 5 civarında etanol içeren sıvı daha sonra distilasyona tabi tutularak % 95’e kadar konsantre edilir, sonrasında yakıt kalitesindeki etanol elde edilir. Lignin ve distilasyondan çıkan maddeler konsantre edilip yakılarak proses için gereken ısıyı elde etmek için gerekli olan buhar ve elektrik enerjisi sağlanmış olur. Açığa çıkan atıksu ise anaerobik ögütücüde metan üretimi için kullanılır. Metan da elektrik enerjisi elde etmek için kullanılır. Bu kurgu biyoetanol üretim tesisinde elde edilen iki ürün etanol ve elektriktir. Aşağıdaki tabloda bu tesisin kurulum ve işletim maliyeti verilmiştir. Biyoetanol üretim maliyeti hesaplanırken kurulum için gereken 309 milyon dolar hesaba katılmamıştır. Diğer masraflar tarımsal atık üretim, taşıma, enzim ve fermentasyonu kapsayan maliyetleri içermektedir. Tabloya göre yapılan hesaplamalardan sonra 1 ton atıktan 291.3 litre etanol üretmek için 458.51 dolar gerekmektedir. Bu maliyet hesabı tezin Bulgular kısmında, açığa çıkan tarımsal atıklardan Türkiye’de taşıma sektörü için gereken etanolü üretme maliyetini hesaplamak için kullanılmıştır.

Tablo 3.9: Buğday samanından biyoetanol üretim maliyeti.

Genel veri	Birim	Buğday Samanı
Etanol üretim kapasitesi	Megalitre (Ml)	200
Biyokütle işlem kapasitesi	Ton kuru atık (KA)/gün	1960
Toplam proje yatırımı	Milyon dolar	309
Atık		
Taşıma harici maliyet	Dolar/t KA	97.3
Taşıma maliyeti	Dolar/t KA	11.65
Toplam maliyet	Dolar/t KA	<u>108.95</u>
Verim	T KA/hektar. yıl	3.523
Averaj toplama alanı	km	55.7
Kullanılabilirlik faktörü	hektar/hektar	% 10
Proses		
Etanol verimi	L/ton KA	291.3
Toplam elektrik üretimi	MW/yıl	54.8
Toplam tüketilen elektrik	MW/yıl	22.4
Fazla üretilen elektrik	MW/yıl	32.3
Satın alınan elektrik	MW/yıl	0
Üretim maliyeti		
Kullanılan atık maliyeti	Dolar/L	0.37
Değişken ve sabit operasyon maliyeti	Dolar/L	0.037
Yatırım maliyeti	Dolar/L	0.29
Toplam üretim maliyeti	Dolar/L	0.73
Atık dışındaki toplam maliyet	Dolar/L	0.36
Toplam üretim maliyeti	Dolar/L	1.72
1 ton atıktan üretim maliyeti	Dolar/L	1.72 x 291.3 = <u>349.56</u>
Atık proses ve etanol üretim maliyeti	Dolar/L	350.56+108.95 = <u>458.51</u>

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Türkiye’de Üretilen Toplam ve Kullanılabilir Tarımsal Atık Miktarının Belirlenmesi

Bu tez çalışması kapsamında ülkemizde biyoetanol üretimi için kullanılabilecek tarımsal atık potansiyeli tespit edilmeye çalışılmıştır. İlk olarak TÜİK’ten tarım ürünlerinin 2017 yılına ait üretim miktarları temin edilmiş ve bu miktarlar kullanılarak yıllık atık miktarı ve kullanılabilir atık miktarları hesaplanmıştır. Bu tez kapsamında en fazla üretilen ve biyoetanol üretim verimi literatürde en çok çalışılmış ürünler için değerlendirme yapılmıştır. Bu ürünler başta buğday olmak üzere arpa ve yulaf tahılları, şeker pancarı ve mısırdır. Atık potansiyeli tezin yöntem kısmında verilen kaynaklar doğrultusunda elde edilen dönüşüm oranları kullanılarak hesaplanmıştır.

Talebni ve ark (2010) tarafından yapılan değerlendirmeler doğrultusunda 1 ton tahıl ürünü başına 1.3 ton atık açığa çıktığı ve bu atığın 0.66’sının kullanılabilir olduğu kabul edilerek hesaplanan bulgular Tablo 3.2’de verilmiştir. 2017 yılı için Türkiye’de üretilen toplam tahıl miktarı 34,3 Mton, tahıllardan çıkan toplam lignoselülozik atık miktarı 44.7 Mton ve kullanılabilir atık miktarı 29.5 Mton olarak hesaplanmıştır.

Biyoetanol üretiminde değerlendirilmek için kullanılabilecek atık oranı Öztürk ve Başçetinçelik (2006) tarafından değerlendirilmiş ve farklı ürünler için farklı oranlar verilmiştir (Tablo 3.3). Toplam tahıl üretiminden açığa çıkan atığın yalnızca % 15 lik bir kısmı biyoetanol üretiminde değerlendirilebileceği kabul edildiğinde biyoetanol üretimi için kullanılabilecek atık miktarı 4.4 Mton’dur.

Mısır ve şeker pancarı için ürün başına üretilen atık miktarı için dönüşüm oranı 1 olarak alınmıştır. Yani bir ton üründen 1 ton atık açığa çıkaracağı kabul edilmiştir. Bu değer tahıl atıklarında olduğu gibi 0.66 ile çarpılarak toplam kullanılabilir atık miktarı hesaplanmıştır. Biyoetanol üretiminde kullanılabilir atık miktarının hesaplanmasında dönüşüm oranı 0.6 olarak alınmıştır.

Tablo 4.1 ve 4.2’de Türkiye’de üretilen biyoetanol üretim potansiyeli yüksek tarımsal ürün olarak tahıl ile buğday, mısır ve şeker pancarı atık miktarları verilmiştir.

Tablo 4.1: Türkiye’de toplam tahıl ve buğday için atık miktarı ve dönüşüm katsayıları.

Ürünler	Üretim (Ton)	Ekilen Alan (Dekar)	Lignoselülozik Atık Miktarı (LA) (Ton)	Kullanılabilir Atık (KA) (Ton)	Biyoetanol üretimi için kullanılabilir Atık (BKA) (Ton)
Dönüşüm oranı			<i>Ürün x 1,3</i>	<i>(LAM x 0,66)</i>	<i>(KA x 0,15)</i>
Tahıl (Toplam)*	34.361.164	11.349. 212	44.669.513	29.481.878	4.422.282
Arpa	6.700.000	2.740.052	8.710.000	5.748.600	862.290
Buğday (Toplam)	20.600 000	7.671.945	26.780.000	17.674.800	2.651.220
Buğday (Diğer)	16.980.000	6.433.273	22.074.000	14.568.840	2.185.326
Buğday (Durum)	3.620.000	1.238.672	4.706.000	3.105.969	465.894

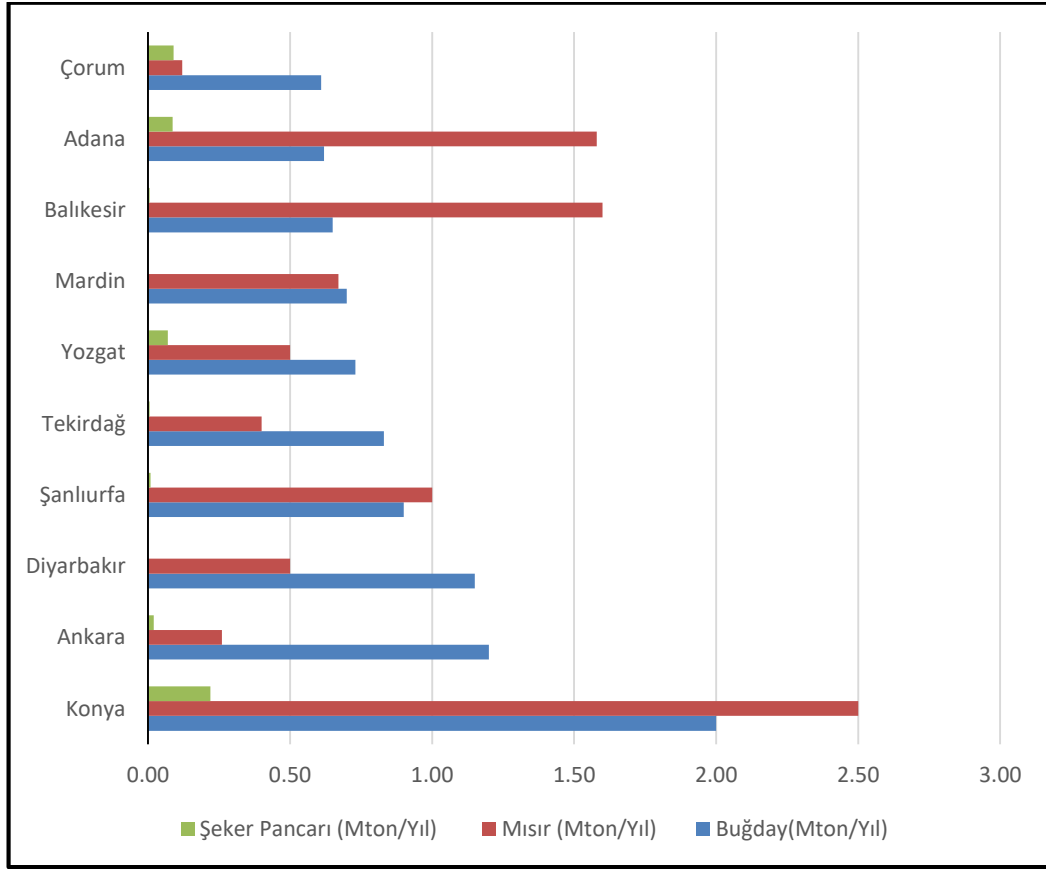
*Toplam tahıl miktarı çavdar ve yulaf gibi diğer tahılları da içermektedir.

Tablo 4.2: Türkiye’de mısır- şeker pancarı için atık miktarları ve dönüşüm katsayıları.

Ürünler	Üretim (Ton)	Ekilen Alan (Dekar)	Lignoselülozik Atık Miktarı (LA) (Ton)	Kullanılabilir Atık (KA) (Ton)	Biyoetanol üretimi için kullanılabilir Atık (BKA) (Ton)
Dönüşüm oranı			<i>Ürün x 1</i>	<i>LA x 0,66</i>	<i>KA x 0,6</i>
Mısır	6.400.000	680.019	6.400.000	4.224.000	2.534.000
Şeker Pancarı	20.828.316	339.217	20.828.316	13.746.689	8 248 013

4.2. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Atık Verileri

Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün oluşturmuş olduğu BEPA (Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası) web uygulamasında Türkiye'deki tüm iller için tüm tarımsal ürünler ve bu ürünlerden çıkan atık miktarları hesaplanmıştır. Şekil 4.1'de buğday dikkate alınarak en fazla üretim yapan ilk on ilin atık miktarları verilmiştir. Tablonun bütün illeri kapsayan hali ekler kısmında mevcuttur. Tablo 4.3'te 81 ilin toplam tarımsal atıkların miktarları mevcuttur.



Şekil 4.1: Türkiyede illere göre üretilen atık miktarları.

Tablo 4.1 ve 4.2 de verilen TÜİK verilerine göre üretilen buğday, mısır ve şeker pancarı miktarları ve Tablo 4.3'te gösterilen ETKB verilerine göre hesaplanan toplam atık miktarları dikkate alındığında Tablo 4.4'te görülen Atık/Ürün dönüşüm oranı tablosu ortaya çıkmıştır.

Tablo 4.3: Türkiye’de üretilen toplam tarımsal atık miktarları.

	Buğday (Ton/Yıl)	Mısır (Ton/Yıl)	Şeker Pancarı (Ton/Yıl)
Toplam Atık Miktarı	20.910.882,00	32.123.613,60	778691,84

Tablo 4.4: Türkiye’deki tarımsal ürünlerin Atık/Ürün bazındaki dönüşüm katsayıları.

	Buğday (Ton/Yıl)	Mısır (Ton/Yıl)	Şeker Pancarı (Ton/Yıl)
Atık/Ürün Oranı	1.015	5.019	0.037

Literatürde verilen atık/ürün dönüşüm katsayılarının buğday için tutarlı olduğu ancak mısır için literatürden son derece farklı olduğu görülmüştür. Literatürdeki kabullere göre 1 ton buğday ürününden 1.3 ton atık açığa çıkacağı belirtilmiştir [Talebniya et al., 2010]. TÜİK’nun Türkiye’deki buğday üretimi, Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı’nın buğday samanı atığı verilerine göre bir çıkarım yapıldığında 1 ton buğday için 1.015 ton atık çıktığı sonucuna varılmıştır. Atık miktarı bir ton mısır için 5 ton atık, 1 ton şeker pancarı için ise 0.037 ton atık şeklinde hesaplanmıştır.

Erozyonun önlenmesi, toprağın organik yapısının korunması, nem dengesinin korunması ve tarlada yaşayan kuş böcek gibi çeşitli canlıların beslenebilmesi için tarımsal atıkların büyük bir kısmının tarlada bırakılması gerekmektedir [Bies, 2006]. Ekosistemin bozulmasının birçok alanda hissedilebilecek çok daha maliyetli sonuçları olmaktadır [Tegtmeier and Duffy, 2004]. Toprağın verimliliğinin düşmesi ve gelecek hasatların verimsiz olması bunlardan biridir. Tarlada bırakılması gereken tarımsal atık miktarı tahıllar için % 50, mısır için % 70 civarında öngörülmüştür [Tyndal et al., 2011].

Dolayısıyla ETKB’nın verilerine göre Türkiye’de çıkan 32.1 milyon ton civarındaki mısır atığının sadece % 30’luk bir kısmı kullanılabilir olmaktadır. Bu atıkların hayvan yemi ve ısınma amaçlı da kullanılabileceği düşünülürse Öztürk ve Başçetinçelik (2006) tarafından belirtildiği gibi biyoetanol üretimi için bu atığın

sadece % 15’lik bir kısmı kullanılabilir. Bu rakam 4.8 milyon tonluk bir atık miktarına tekabül eder.

4.3. Tarımsal Atıklardan Biyoetanol Üretimi

4.3.1. Buğday ve Diğer Tahıllar

Toplam biyoetanol üretim miktarının hesaplanmasında materyal ve metot kısmında verilen farklı çalışmalardan faydalanılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde farklı hidroliz veya önışlem metodları kullanıldığında etanol üretim verimlerinin değiştiği görülmektedir. Literatürde en fazla lignoselülozik biyoetanol üretim çalışması buğday samanı kullanılarak yapılmıştır.

Buğday kalıntılarının hidrolizi için asit, buhar veya alkali yöntemleri kullanılabilir. Wang et al (2013) tarafından yapılan çalışmada farklı önışlemler sonucu etanol üretim verimleri listelenmiştir. Ön işlemler için verilmiş kısaltmaların açıklamaları tezin materyal ve metod bölümünde görülebilir. Bu çalışmada bir tesiste % 30 katı yükleme oranında kullanılan katı, ön işlemden geçtikten sonra 10 FPU/g glukon olacak şekilde enzim eklenerek selülozun parçalanması sağlanmış ve açığa çıkan şekerler *Zymomonas mobilis* ile fermente edilmiştir. Hidroliz için *Cellic Ctec enzim kokteyli* kullanılmıştır. Çalışmaya göre en düşük verim ıslak oksidasyon (WO), en yüksek verim ise asitli buhar patlatma önışleminde elde edilmiştir. Bu koşullarda elde edilen verim değerleri dikkate alınarak Türkiye’de tahıl atıklarından biyoetanol üretim miktarı hesaplanmıştır (Tablo 4.5).

Bu tabloda tüm kullanılabilir tahıl samanının (KA) (% 66) biyoetanol üretiminde değerlendirildiği kabul edildiğinde veya samanın yalnızca biyoetanol üretiminde kullanılabilir kısmı (BKA) olan % 15’lik kısmının kullanılması halinde ne kadar biyoetanol üretilebileceği hesaplanmıştır. Literatür kısmında da anlatıldığı gibi tarımsal atıklar bölgeye göre yakıt veya hayvan yemi olarak da değerlendirilebilmektedir. Bu nedenle tarladan hasat edilen samanın yalnızca 0.15 (% 15) lik bir kısmının biyoetanol üretiminde kullanılabileceği öngörülebilir.

Tablo incelendiğinde farklı önışlemler uygulandığında Türkiye’deki 4.4 Mton’luk biyoetanol üretimi için kullanılabilir olan tahıl atığından yaklaşık 0.9-1.1 Mton biyoetanol üretilebileceği görülür.

Eğer samanının hayvan yemi veya yakılarak kullanılmayacağı kabul edilirse bu durumda etanol üretimi için değerlendirilebilecek tahıl atığı miktarı 29.5 Mton olacaktır ve bu atıktan 6-7.4 Mton'a kadar biyoetanol üretilenilecektir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: Tahıl atıklarından biyoetanol üretimi.

	DA (0.226) *	SEAC (0.251)	SE (0.22)	LHW (0.234)	WO (0.205)
Tahıl BKA (Mton) 4,4	1	1.1	0.97	1.03	0.9
Tahıl KA (Mton) 29,5	6.67	7.4	6.49	6.9	6.05

* Parantez içindeki değerler atık→biyoetanol dönüşüm verimleridir.

4.3.2. Şeker Pancarı

Bilindiği gibi lignoselülozik atıklardan etanol üretim verimini artıran en önemli proseslerden biri enzimatik hidrolizdir. Aşağıdaki tablodan da (Tablo 4.6) görüleceği gibi enzim kullanımı artırıldıkça şeker pancarı atıklarından üretilen etanol miktarında da artış görülmektedir. [Oviedo et. al., 2018].

Tablo 4.6: Enzim kullanımının biyoetanol üretimine katkısı.

	7.5 FPU/g (t=48 h;1 g kuru atık)	15 FPU/g (t=48 h;1 g kuru atık)	30 FPU/g (t=48 h;1 g kuru atık)
SE	71.519 mg	136.16 mg	132.4 mg
AH	65.978 mg	87.867 mg	116.07 mg

Buhar patlatması (SE) ile önışlem yapıldığında asit uygulamasından kaynaklı yan ürünler oluşmadığı için enzimler çok daha aktif çalışmaktadırlar; buhar patlatması + enzim uygulamasında Türkiyede'ki şeker pancarı atıklarından 0.068 GL etanol üretilenilecektir. Asit hidrolizi+enzim uygulamasında ise bu miktar 0.046 GL'ye düşmektedir. Bu hesaplamalarda Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) sayfasında verilen Türkiyedeki toplam şeker pancarı atığı verileri (0.778 Mton) dikkate alınmıştır. ETKB şeker pancarı için Türkiye çapında oldukça düşük bir atık miktarı yayınlamıştır. Bu atık miktarı biyoetanol üretiminde kullanılabilir atık miktarı olarak kabul edilmiştir. Oviedo et. al. (2018)'de 1.5 L (endoglucanase/cellobiohydrolase)

enzim karışımı yaklaşık 7.5 FPU/g olacak şekilde eklenmiştir. Fermentasyon için *Saccharomyces Cerevisiae* kullanılmıştır. Tablo 4.7’de görüldüğü gibi şeker pancarı en az kullanılabilir atık çıkaran tarım ürünü gibi görünmektedir.

Tablo 4.7: Şeker pancarı atıklarından biyoetanol üretimi.

Şeker Pancarı ETKB Verileri (Mton) BKA	AH (0.059) *	SE (0.087)
0.778	0.046	0.068

*Parantez içindeki değerler atık→biyoetanol dönüşüm verimleridir.

Şeker pancarı atıklarından yıllık yaklaşık 46-68 bin ton biyoetanol üretilebilir. Şeker pancarı atığı olarak görülen melas çok değerli bir endüstriyel yan üründür ve şeker içeriği çok yüksek olduğu için çok çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Türkiye’deki şeker pancarı atıklarının miktarının düşük olmasının en önemli nedenlerinden biri melas üretimi olabilir. Bitkiden geriye kalan atıkların da şeker içeriği düşük olduğu için etanol üretim verimi düşüktür.

4.3.3. Mısır

Aşağıdaki tabloda (Tablo 4.8) en iyi teknolojiler kullanıldığında farklı önışlemler sonucu mısır kalıntılarından üretilen etanol miktarları (GL) verilmiştir.

Tablo 4.8: Olası en iyi teknolojiler kullanıldığında farklı önışlemler sonucu mısır kalıntılarından üretilen etanol miktarları (GL).

	S1 (0.23)*	S2 (0.27)	S3 (0.26)	S4 (0.26)	S5 (0.23)	S6 (0.31)	S7 (0.19)	S8 (0.26)
Mısır atığı TUİK+Literatür (Mton) BKA 2.53	0.58	0.68	0.66	0.66	0.58	0.78	0.48	0.66
Mısır atığı ETKB (Mton) BKA 12.67 (32x0,66x0,6)	2.91	3.42	3.3	3.3	2.91	3.93	2.41	3.3

*Parantez içindeki değerler atık→biyoetanol dönüşüm verimleridir.

Yukarıdaki tabloda (Zhao et al., 2018) tarafından yapılan değerlendirme makalesinde sekiz farklı ön işlem metodu sonucunda biyoetanol üretimi için verim katsayıları (dönüşüm oranları) görülmektedir. Bu dönüşüm oranları kullanılarak Türkiye'deki mısır atıklarından (2.534.000 ton) üretilebilecek biyoetanol miktarları hesaplanmıştır. En yüksek verim 0.78 GL ile amonyak ön işlemi (S6) uygulandığında, en düşük verim ise 0.48 GL ile mantar ile hidroliz (S7) ön işlemleri uygulandığında elde edilebilecektir. TÜİK verilerine göre Türkiye'deki mısır üretimi 6,4 Mton'dur.

Literatürde kabul edilen dönüşüm oranlarına göre 1 ton mısır için 1 ton atık açığa çıkmaktadır. Ancak ETKB verilerine göre Türkiye'deki toplam mısır atığı 32 Mton'dur. Mısır koçan ve yaprakları düşünüldüğünde oldukça fazla atık çıkaran bir bitkidir. Dolayısıyla yaklaşık 6.4 Mton mısırdan 32 Mton atığın çıkması şaşırtıcı olmayabilir. Ancak yukarıda da anlatıldığı gibi bu atıların yaklaşık % 70 lik bir kısmının tarlada bırakılması gerekmektedir. Yine de Türkiye'deki mısır atıkları etanol üretiminde kullanılabilecek oldukça büyük bir biyokütle kaynağıdır.

4.4. Türkiye'nin Biyoetanol İhtiyacı

Türkiye'de 2018 yılı için günlük benzin tüketimi 8.968.065 litre, yıllık tüketim 3 milyar 280 milyon litredir. Avrupa Birliği kriterlerine göre benzin-etanol karışımında %5 oranı korunduğunda yıllık 164.25 milyon litre biyoetanol gerekmektedir.

Dünyada global buğday üretimi yaklaşık 2.4 Mg/hektar olarak rapor edilmektedir. Tarlada bırakılması gereken atık miktarı çıkarıldığında yıllık yaklaşık olarak 430 Tg (Teragram) lik bir buğday atığı biyoetanol üretimi için değerlendirilebilir (850 Tg'lık buğday sapı atığının 430 Tg'ı kullanılabilir olarak kabul edilmiştir). Talebnia ve ark (2010) 430 Tg buğday atığından 120 GL etanol üretilebileceğini varsaymışlardır. Bu oran atığın yaklaşık % 28 oranında biyoetanole dönüştürülebileceği anlamına gelmektedir. Hacimsel enerji içeriği ve oktan sayısı dikkate alınırsa 120 GL etanol 93 GL petrole eşdeğerdir [Otero et al., 2007].

4.5. Etanol Üretim Veriminin Hesaplanması

Talebni ve ark. (2010) 'da öngörüldüğü gibi atığın etanole dönüşüm oranı % 28 olarak kabul edilirse sadece tahıl atığından (4.4 Mton) 1.2 Mton biyoetanol üretilebilir. Bu değer toplam etanol ihtiyacı olan 164 ML (0.127 Mton)'nin yaklaşık 10 katıdır. Dolayısıyla Türkiye'de biyoetanol üretimi için değerlendirilebilecek atık miktarı sadece tahıl atıkları bile dikkate alınsa yeterli düzeydedir.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan hesaplamalarda ETKB verileri dikkate alındığında tahıl, şeker pancarı ve mısır için kullanılabilir atıklardan maksimum biyoetanol üretim verimi sırasıyla 1.1, 0.068 ve 3.93 Mton olarak hesaplanmıştır.

4.6. Biyoetanol Üretim Maliyeti

Biyoetanol üretimi kullanılan kimyasallar, enzimler ve tarımsal atığın fiyatı düşünüldüğünde maliyetli bir prosestir. Gnansounou ve Dauriat (2018) 'in "*Techno-economic analysis of lignocellulosic ethanol*" başlıklı derlemesinde biyoetanol üretim maliyetine detaylı bir şekilde yer vermiştir. Bu makaleye göre biyoetanol üretimi için temel bileşenler ve maliyetleri, materyal ve metod bölümünde verilmiştir. Bu makalede yapılan maliyet hesabında takip edilen üretim prosedürü de materyal ve metod kısmında detaylı olarak anlatılmıştır. Yapılan spreadsheet maliyet hesabı modeline göre, ideal bir lignoselülozik etanol üretim tesisinde 1 ton atıktan 291.3 L biyoetanol üretilebileceği ve 458.58 dolar maliyeti olacağı bulunmuştur. Gnansounou ve Dauriat'a göre 1 ton saman için taşıma ve toplama maliyeti 108 dolar olarak verilmiştir. Bu rakam Türkiye'deki rakamlara yakındır. Ülkemizde 1 kg samanın toplama ve taşıma maliyeti 0.45-0.75TL arasında değişmektedir (450-750 TL/ton) (kişisel görüşmeler sonucu elde edilen bilgi). Dolayısıyla Gnansounou ve Dauriat tarafından öngörülen maliyet hesabı saman fiyatı açısından bakıldığında ülkemize uygundur. Bazı kaynaklarda tarımsal atıkların toplanması ve taşınması selülozik etanol üretiminin % 50 maliyetini oluşturduğu belirtilmiştir [Hess et al, 2007]. Gnansounou ve Dauriat'ın maliyet hesabında taşıma ve toplama maliyeti biyoetanol üretiminin yaklaşık % 25'ini oluşturduğu görülmektedir. Ancak tarımsal ürünlerin ekimi ve üretimi de düşünülürse selülozik etanol üretim maliyetin % 50'sinin atık hammadde maliyeti olması kabul edilebilir bir değerlendirmedir. Bu nedenle biyoetanol üretim tesislerinin tarımsal atıkların çokça çıktığı bölgelere kurulması daha ekonomik

olacaktır. Örneğin; buğday samanından üretim için Konya, mısır atıklarından üretim için İzmir uygun şehirlerdir.

Türkiye’de, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından 27/09/2011 tarih ve 28067 sayılı Resmî Gazete yayımlanan tebliğ ile piyasaya akaryakıt olarak arz edilen benzin türlerinin yerli tarım ürünlerinden üretilmiş etanol içeriğinin; 01/01/2014 tarihi itibarıyla ise en az % 3 olması zorunlu hale getirilmiştir. Yakın vadede bu oran % 5 ve daha ileriki yıllarda % 10’a çıkması beklenmektedir. % 5 ve % 10 karışım oranlarına göre yapılan maliyet analizi Tablo 4.10’da verilmiştir.

Türkiye’de benzine % 5 oranında karıştırılması gereken biyoetanolün tamamı tarımsal atıklardan karşılanırsa, 164.25 ML biyoetanolün üretimi için yıllık yaklaşık 260 milyon dolar gerekmektedir (258.837.680,412 dolar).

Tablo. 4.9: Türkiye’de buğday samanından biyoetanol üretim maliyeti (2018 yılı için yıllık yakıt tüketimi 3280 ML olarak kabul edilmiştir).

Benzin-Etanol Karışım Oranı	Gereken Biyoetanol/Yıl	Gereken Atık Miktarı (Mton) (En Fazla-En Az)			Maliyet* (Milyon dolar) Saman Fiyatı 108 Dolar/Ton Kuru atık→biyoetanol verimi % 22.7	Maliyet*/L Biyoetanol (Dolar)
		Tahıl	Mısır	Şeker pancarı		
% 5	164.25 ML (0,128 Mton)	0.64-0.5	0.67-0.32	2.13-1.14	197.5 (+Saman Maliyeti=259)	1.57
% 10	328.5 ML (0,256 Mton)	1.3-1	1.34-0.64	4.2-2.28	517.8	1.57
Saman Fiyatı		Etanol Üretim Verimi 0.2-0.25 İçin Tahıl Samanı Maliyeti (MDolar)			Toplam Yıllık Maliyet Değişimi (MDolar)	Litre Başı Maliyet Değişimi (Dolar)
(0.45 TL/kg)		49.66-43.1			241-280 (1.4-1.62 Milyar TL)	1.46-1.7 (8.5-9.9 TL)
(0.75 TL/kg)		82.8-64.6				

*Tahıl toplam atık:20.9 Mton, Kuru Atık→Etanol Verim:0.2-0.25; Mısır Toplam Atık: 32.1 Mton, Kuru Atık→Etanol Verim:0.19-0.31; Şeker Pancarı Toplam Atık: 0.78 Mton, Kuru Atık→Etanol Verim:0.059-0.087. *Maliyet analizi tahıl atığı için yapılmıştır; (M: Milyon).

Farklı kaynaklar incelendiğinde farklı prosesler kullanıldığında biyoetanol üretim verimlerinin de değişiklikler gösterdiği görülmektedir. Bu tez kapsamında da literatürde yapılan çalışmalar doğrultusunda bu verim değerlerindeki değişimler ortaya konmuştur. Örneğin; Gnansounou ve Dauriat (2018)' ta kullanılan maliyet hesabına göre 1 ton atıktan 291.3 litre etanol üretimi gerçekleştirdiği kabul edilirken (verim 0.29) bu değer Zhao et. al., (2018) tarafından yapılan analizde (Tablo 3.6) kullanılan önışlemlere göre (buğday atıklarından biyoetanol üretim verimi) 0.19-0.31 arasında değişmektedir.

Bu verim değerlerinde göre en maliyetli üretim 0.19 verim ile fungal ön hidroliz yapıldığında olacaktır. Bir uygulama ne derece çevre dostu ise o derece maliyetli olmaktadır. Ligninin mantarlarla yani mikrobiyolojik olarak parçalanması uzun süren ve yavaş bir prosestir ancak mikrobiyel önışlemlerde çevreye zararı olan asit ürünleri minimum seviyede açığa çıkmaktadır.

Benzinin litresi bugün Türkiye'de yaklaşık 6.83 TL'den satılmaktadır (1.2 dolar). Gnansounou ve Dauriat (2018) tarafından yapılan maliyet analizine gre yapılan analizde 1 L lignoselülozik biyoetanol üretimi için 1.57 dolar gerektiği (458.51 dolar/291.3 L=1.57 dolar) ortaya çıkmıştır (Tablo 4.10). Dolar kuru 5.8 olarak hesaplandığında lignoselülozik biyokütleden 1 litre etanol üretimi için gereken miktar 9.1 TL'dir. Sadece üretim maliyeti olan bu değer bugün için petrolün satış rakamlarından bile yüksektir. Kaba bir varsayım yapılacak olursa lignoselülozik biyoetanolün satış fiyatı benzinin iki katı olabilir. Lignoselülozik etanol üretiminin başlatılması ve kullanımın yaygınlaştırılması için bu maliyetin makul seviyelere çekilmesi gerekmektedir. Ancak dünya çapında petrol rezervlerinin kısıtlı olması, ülkemizde yeterince petrol rezervinin olmaması ve ülkemizin jeopolitik durumu gibi faktörler gözönüne alındığında atıktan biyoetanol üretiminin bir kenara bırakılacak kadar pahalı bir proses olmadığını düşünmekteyiz. Benzin fiyatlarındaki hızlı artış Türkiye'de yenilenebilir kaynaklardan yakıt üretimi konusuna daha fazla önem verilmesi gerektiğini göstermektedir.

Türkiye'de etanol kimyasal sentezle veya mısır ve şeker pancarı gibi tarımsal ürünlerin hidrolizi ve fermentasyonu yoluyla üretilmektedir. Ülkeden ülkeye değişmekle birlikte genel olarak dünyada kimyasal sentez yoluyla etanol üretimi toplam etanol üretiminin % 7 gibi küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Etanolün etilenden üretimi etilen fiyatının yüksek olması nedeniyle daha pahalı bir işlemdir.

Buna rağmen gıda fiyatlarındaki artış zaman zaman bazı ülkelerde kimyasal üretimin artmasına neden olabilmektedir (Rozbehani et al., 2013). Pejin et al., (2012) tarafından yapılan maliyet analizi çalışmasında mısırdan ve buğdaydan 1000 L biyoetanol üretim maliyeti 333 ve 360 dolar olarak hesaplanmıştır.

Bu değerler tarımsal atıklardan üretim ile kıyaslandığında oldukça düşüktür. Gnansounou ve Dauriat (2018)'ın maliyet analizine göre buğday samanından 1000 L biyoetanol üretmek için 1580 dolarlık bir harcama yapılması gerekmektedir. Bu değer buğday veya mısır mahsullerinden biyoetanol üretim maliyetinin yaklaşık 4.5 katıdır. Ancak mısır ve buğday gibi tarım ürünleri gıda olarak da ihtiyaç duyulan ürünlerdir ve biyoetanol üretimi amacıyla kullanımları ürün fiyatlarının artmasına neden olacağı öngörülmektedir. Gıda ürünlerinin biyoetanol üretiminde kullanılması gıda-enerji rekabetine neden olacağı düşünüldüğü için sınırlandırılması gereken bir proses olarak görülmektedir. Tarımsal atıklardan biyoetanol üretimi gerçekleştiğinde bu problem de aşılmış olacaktır.

5. SONUÇLAR ve YORUMLAR

Enerji talebi artan nüfusun gereksinimlerini karşılayacak şekilde hızla artmaktadır ve dünyanın başlıca sorunlarından biri haline gelmiştir. Tükenme riski düşük alternatif enerji kaynağı arayışları da yenilenebilir hammaddelerin kullanımına yönelmiştir. Dünyada yıllık bitki biyokütlesi üretimi 200x10⁹ ton olup, biyoyakıt üretimi için yaklaşık 8x10⁹-20x10⁹ tonunun kullanılabileceği rapor edilmiştir [Saini et al., 2014], [Kuhad ve Singh, 1993]. Bu bitki biyokütlesinin büyük bir kısmını oluşturan tarımsal atıklar ulaştırma sektöründe halihazırda kullanılmakta olan etanolün üretimi için gelecek vadeden bir hammadde olarak görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında Türkiye'de üretilen önemli tarımsal ürünlerden açığa çıkan atık miktarları ve biyoetanol üretim potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Tez çalışması kapsamında yapılan analizler sonucunda 2017 yılı için Türkiye'deki toplam tahıl, mısır ve şeker pancarı atık miktarı 29, 8 ve 13 milyon ton (Mton) olarak hesaplanmıştır. Tarımsal atık miktarlarının hesaplanmasında TÜİK'ten alınan yıllık ürün miktarları baz alınmıştır. Literatürde verilen bilgiler doğrultusunda yapılan hesaplamalar sonucunda biyoetanol üretimi amacıyla kullanılabilir atık miktarları ise tahıllar için 4.4 Mton, mısır ve şeker pancarı için sırasıyla 2.5 ve 8.2 Mton olarak öngörülmüştür. Ancak şeker pancarı fabrikası atığı olan melasının birçok endüstride ihtiyaç duyulan önemli bir şeker kaynağı olması nedeniyle hesaplanan 8.2 Mton'luk atığın melas üretimini de kapsadığı düşünülmüştür. Nitekim Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan yıllık şeker pancarı atık miktarı oldukça düşüktür. Farklı yıllarda üretilen ürün miktarlarındaki farklılıklar da yıllık atık miktarlarını değiştirmektedir.

Türkiye'de ulaştırma sektöründe kullanılan yıllık yakıt tüketimi 3 milyar 280 milyon litre olarak rapor edilmektedir. Avrupa Birliği kriterlerine göre ulaştırma sektöründe kullanılan yakıtların % 5 oranında etanol ile karışım halinde kullanılması gerekmektedir. Buna göre yıllık gereken etanol miktarı 164 milyon litre olacaktır. Tez kapsamında yapılan analiz sonucunda yıllık üretilen tarımsal atık miktarları incelendiğinde, sadece tahıl samanı için bile, etanol üretimi için kullanılabilir atık miktarının Ülkemiz için gereken etanolün on katı kadar etanol üretilebilecek seviyede olduğu görülmüştür. Gıda ürünlerinin biyoetanol üretiminde kullanılması gıda-enerji rekabetine neden olacağı düşünüldüğü için sınırlandırılması gereken bir proses olarak görülmektedir. Tarımsal atıklardan biyoetanol üretimi gerçekleştiğinde bu problem de aşılmış olacaktır. Yapılan maliyet analizine göre yatırım maliyeti hesaba

katılmadığında, buğday samanından biyoetanol üretim maliyeti 9.1 TL olarak hesaplanmıştır. Lignoselülozik etanol üretimi maliyeti yüksek bir proses gibi görünse de petrol rezervlerinin sınırlı olması ve artan petrol fiyatları göz önünde bulundurulduğunda tarımsal atıklardan üretilen biyoetanol ülke ekonomisine katkı sağlama potansiyeli yüksek bir alternatif enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

Adigüzel A., O., (2011), “Lignoselülozik Biyokütleden Biyoetanol Üretimi.”, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Semineri, 72 s.

Aditiya H.B., Mahlia T.M.I, Chong W.T., Nur H., Sebayang A.H., (2016), “Second generation bioethanol production: a critical review.”, Renewable Sustain Energy Review; 66:631–53.

Aggarwal N.K., Nigam P., Singh D., Yadav B.S., (2001), “Process optimization for the production of sugar for the bioethanol industry from sorghum, a non-conventional source of starch.” World Journal of Microbiology & Biotechnology, 17: 411-415.

Akalın B., Seyrekbasan A.M., (2015), “Dünyadaki Biyoetanol Politikalarının Türkiye Koşulları ile Karşılaştırmalı İncelenmesi ve Türkiye Şartlarına Uygunluk Açısından Biyoetanol Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin Değerlendirilmesi.”, Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg., 29 (1):157-168.

Amineh M.P., Crijns-Graus W.H.J., (2014), “Rethinking Eu. energy security considering past trends and future prospects.”, Perspectives Global Developments Technology, 13 (5-6), 757–825.

Amutha R., Gunasekaran P., (2001), "Production of ethanol from liquefied cassava starch using co-immobilized cells of zymomonas mobilis and saccharomyces diastaticus.", Journal of Bioscience and Bioengineering, 92, 560-564.

Arifeen N., Kookos I.K., Wang, R., Koutinas A. A., Webb C., (2009), "Development of novel wheat biorefining: effect of gluten extraction from wheat on bioethanol production", Biochemical Engineering Journal, 43, 113-121.

Arslan Y, Eken-Saracoglu, (2010), “N. effects of pretreatment methods for hazelnut shell hydrolysate fermentation with pichia stipitis to ethanol.”, Bioresour Technology ,101–22:8664–70.

Balat M., (2009), “Bioethanol as a vehicular fuel: A critical review, energy sources.”, Part A 2009,31–14:1242–55.

Balat M., (2010), “Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: A review.” Energy Conversion and Management, 52:858–75.

Balat M., Balat H., Öz C., (2008), “Progress in bioethanol processing progress in energy and combustion science.”, 34: 551-573.

Bayrakci Ozdingis A. G., Kocar G., (2018), "Current and future aspects of bioethanol production and utilization in Turkey.", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 2196–2203.

Ben-Gera I., Rokey G.J., Smith, O.B., (1983), "Extrusion cooking of grains for ethanol production.", *Journal Of Food Engineering*, 2, 177-187.

Bengisu G., (2014), "Alternatif yakıt kaynağı olarak biyoetanol.", *Alinteri*, 2743–52.

Bentsen N.S., Felby C., (2012). “Biomass for energy in the European Union – a review of bioenergy resource assessments.” *Biotechnology Biofuels* 5, 25.

Bergthaller W., Hollmann J., Johannis P.K., (2007), "Starch.", *Comprehensive Glycoscience*, Elsevier, Oxford, 579-612.

Bies L., (2004), “The Biofuels explosion: Is green energy good for wild life?”, *Wildlife Society Bulletin.*, 34(4):1203-5.

Botella C., Diaz A.B., Wang R., Koutinas A., Webb C., (2009) "Particulate bioprocessing: A novel process strategy for biorefineries.", *Process Biochemistry*, 44, 546-555.

Bulut B., (2006), “Tarıma Dayalı Alternatif Yakıt Kaynaklarından Biyoetanol ve Türkiye İçin En Uygun Biyoetanol Hammaddesi Seçimi.” Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. 122 s.

Campbell, J.E., Lobell, D.B., Genova, R.C., Field, C.B., (2008), “The Global potential of bioenergy on abandoned agriculture lands.” *Environmental Science Technology*, 42 (15), 5791– 5794.

Carrillo-Nieves D., Rostro Alanís M. J., De La Cruz Quiroz R., Ruiz H. A., Iqbal H. M. N., Parra-Saldívar R., (2019), "Current status and future trends of bioethanol production from agro-industrial wastes in mexico.", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102:63–74.

Çağatay S., Kıymaz T., Koç A. Bölük G.ve Bilgin D., (2012), “Dünya ve Türkiye Biyo-Enerji Piyasalarındaki Gelişmelerin ve Potansiyel Değişikliklerin Türk Tarım ve Hayvancılık Sektörleri Üzerindeki Etkilerinin Modellenmesi ve Türkiye İçin Biyo-Enerji Politika Alternatiflerinin Oluşturulması.” Ankara, T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü

Da Costa A.C.A., Junior N. P., Aranda D.A.G., (2010), “The situation of biofuels in brazil, new generation technologies.” *Renewable Sustainable Energy Review*, 14 (9), 3041–3049.

Demirbaş A., (2007), ”Products from lignocellulosic materials via degradation processes.”, *Energy Sources, Part A* 2007:30–1:27–37

Demirbaş A., (2005), “Bioethanol from cellulosic materials: a renewable motor fuel from biomass.”, *Energy Sources*, Taylor & Francis Ltd, 327-337.

Demirbaş A., (2007) "Progress and recent trends in biofuels", *Progress in Energy and Combustion Science*, 33, 1-18.

Demirbaş A., (2005), Bioethanol From Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. *Energy Sources Part A* 2005; 27:327–37.

Dornburg V., Van Vuuren, D., Van De Ven G., Langeveld H., Meeusen, M., Banse, M., Van Oorschot, M., Faaij, A., (2010), Bioenergy revisited: key factors in global potentials of bioenergy.”*Energy Environment Science*, 3, 258–267.

Favero M., Pettenella D., (2014), “Italian import flows of woody biomasses for energy use: a sustainable supply?” *New Medit.* 13 (2), 56–64.

Gross R., Leach M., Bauen A., (2003), "Progress in renewable energy.", *Environment International*, 29, 105-122.

Guasch-Jané M.R., Andrés-Lacueva C., Jáuregui O., Lamuela-Raventós, R.M., (2006.), "First evidence of white wine in ancient egypt from tutankhamun's tomb.", *Journal Of Archaeological Science*, 33, 1075-1080.

Güven S., Güneşer O., Çerik İ., Türkiye A. S., Politikaları A. B., Bengisu G., (2009), "Biyotanolün genel özellikleri ve üretimi için gerekli hammadde kaynakları", *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 8 (1), 204–220.

Hache E., (2018), "Do renewable energies improve energy security in the long run?", *International Economics*.

Harrison M.A., Moselio S., (2009) "Beer/Brewing", *Encyclopedia of Microbiology*, Academic Press, Oxford, 23-33,

Harvey M., Pilgrim S., (2011), “The New competition for land: Food, energy, and climate change. food policy.”, 36, S40–S51.

Hendriks A.T.W.M., Zeeman G., (2009),” Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass.” , *Bioresource Technology*, 100, 10–18.

Hess Jr., Wright Ct., Kenney Kl. (2007), “Cellulosic Biomass feed stocks and logistics for ethanol production.”, *Bio-Fuels Bio-Products Biorefining*; 1:181-90

Hu G., Heitmann J.A., Rojas O.J., (2008), “Feedstocks pretreatment strategies for producing ethanol from wood, bark and forest residues.”, *Bioresources* 3 (1), 270–294.

International Energy Agency, *Energy Technology Perspectives: Scenarios & Strategies to 2050*; 2010.

Isci A., (2012), “Second generation bioethanol potential of turkey.” *J Renew Sustain Energy* 2012:4–5.

Jarvis M.C., Brian T., (2003), "Primary products cellulose" *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*, Elsevier, Oxford, 865- 871,

Jouzani G, Taherzadeh M. (2015), "Advances in consolidated bioprocessing systems for bioethanol and butanol production from biomass: A comprehensive review.", *Biofuel Res J*; 5:152–95.

Kannan N., Vakeesan D., (2016), "Solar energy for future World:- A review.", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62:1092–1105.

Kaparaju P., Serrano M., Thomsen A.B., Kongjan P., Angelidaki I., (2009), "Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept", *Bioresource Technology*, 100, 2562-2568.

Kar Y, Deveci H., (2006), "Importance of p-series fuels for flexible-fuel vehicles (FFVS) and alternative fuels", *Energy Sources Part A*:28:909–21.

Karaosmanoglu F., (2005), "Biyokökenli endüstriyel ürünler-yakıt alkolü.", 3e Dergisi, Sayı 134,.

Kerstetter J.D., Lyons J.K., (2001), "Wheat straw for ethanol production in Washington: a resource, technical, and economic assessment." Washington State University, Cooperative Extension Energy Program.
(<http://www.energy.wsu.edu/documents/renewables/wheatstrawforethanol.pdf>)

Kim S, Dale B., (2004), "Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues." *Biomass- Bioenergy*; 26:361–75.

Kumar P., Barrett M.D., Delwiche M.J., Stroeve P., (2009), "Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production", *Industrial engineering and chemical research*, 48(8), 3713-3729.

Leegood R.C., William J.L., Lane M.D., (2004), "Photosynthesis.", *Encyclopedia of Biological Chemistry*, Elsevier, New York, 330-335.

Li Q., Hu S., Chen D., Zhu B., (2014), "System analysis of grain straw for centralised industrial usages in China.", *Biomass And Bioenergy*, 47:277–288.

Liu R. Andli J., Shen F., (2008), "Refining bioethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilized yeast fermentation", *Renewable Energy*, 33, 1130-1135.

Lynd Lr., (1996), "Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy." *Annual Review of Environment and Resources* , 21:403–65.

Meral R., Saydan Kanberoğlu, G., (2012), "Tahıllardan etanol üretimi." *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(3):61-68.

Moioli E., Salvati F., Chiesa M., Siecha R. T., Manenti F., Laio F., Rulli M. C., (2018), "Analysis of the current world biofuel production under a water–food–energy nexus perspective.", *Advances in Water Resources*, 121:22–31.

Nigam Ps., Singh A., (2011), "Production of liquid biofuels from renewable resources.", *Progress in Energy and Combustion Science*, 37:52–68.

Pamir N., (2003), "Dünya’da ve Türkiye’de enerji, Türkiye’nin enerji kaynakları ve enerji politikaları", *Metalurji Dergisi*, 2-4, Temmuz 2003.

Pejin J., Nikolic S., Vukoje V., (2012), "A comparison of the costs of bioethanol production from triticale, wheat and maize." *Romanina Agricultural Research* (29):261-269.

Pickett J, Anderson D, Bowles D, Bridgwater T, Jarvis P, Mortimer N, et al., (2008), "Sustainable biofuels: Prospects and challenges." London, UK: The Royal Society.

Prasad, S., Singh, A., Joshi, H.C., (2007) Ethanol as an alternative fuel from agricultural. *Industrial And Urban Residues.*", *Resources, Conservation & Recycling*, 50, 1–39.

Roosbehani, B, Moqadam S.I., Mirdrikvand, M., Roshan, A. C., (2013), "Synthetic ethanol production in the Middle East: A way to make environmentally friendly fuels." *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, Vol. 49(2):115-124.

Sabancı A., Ören M.N., Yaşar B., Öztürk H.H., Atal M., (2010), "Türkiye’de biyodizel ve biyoetanol üretiminin tarım sektörü açısından değerlendirilmesi." *Ziraat Mühendisleri Odası 7. Teknik Kongresi*, Ankara. 2:933-953.

Saini Jk, Saini R., Tewari L., (2015), "Lignocellulosic agriculture wastes as biomass feedstocks for second-generation bioethanol production: Concepts and recent developments." *3 Biotechnology*, 2014:1–17.

Kuhad Rc, Singh A., (1993), "Lignocellulose biotechnology: Current and future prospects.", *Critical Review Biotechnology*, 13:151–72.

Sánchez C., (2009), "Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. ", *Biotechnology Advances* , 27:185–94.

Sanders Kelly T., (2015), "Critical Review: Uncharted Waters? “ , *The Future Of The Electricity -Water Nexus Environmental Science & Technology* , 49 (1), 51–66.

Shafiee S., Topal E., (2009), "When Will Fossil Fuel Reserves Be Diminished?", *Energy Policy*, 37 (1), 181–189.

Shafiee S., Topal E., (2009), "When Will Fossil Fuel Reserves Bediminshed?" , *Energy Policy*, 37(1), 181–189.

Smith A.M., (2008), "Prospects for increasing starch and sucrose yields for bioethanol production." , *Plant J*; 54:546–58."

Talebniya F., Karakashev D., Angelidaki I., (2010), "Production of bioethanol from wheat straw: an overview on pretreatment, Hydrolysis and fermentation.", *Bioresource Technology*, 101, 4774-4753, 2010."

Tegtmeier E, Duffy M. (2004), "External costs of agricultural production in the united states. International Journal of Agricultural Sustainability, 2:1-20.

Thöne E., Fahl, U., Biesl, M., (2009), The Overall situation of the energy economy in Germany.” , Energie-Fachmagazin 61 (4), 36–53.

Tyndall J.C., Berg E.J., Colletti J.P. (2011), “Corn stover as a biofuel feedstock in iowa’s bio-economy:an iowa farmer survey.”, Biomass And Bioenergy” 35: 1485-1495.

Xu Y., Wang, R.H., Koutinas, A.A., Webb, C., "Microbial biodegradable plastic production from a wheat-based biorefining strategy", Process Biochemistry, 45, 153-163.

Valdez-Vazquez I., Sparling R., Risbey D., Rinderknecht-Seijas N., Poggi-Varaldo M., (2005), "Hydrogen generation via anaerobic fermentation of paper mill wastes.", Bioresource Technology, 96(17),1907-1913.

Web 1, (2019), <http://www.eia.gov>, (Eriřim Tarihi: 23.05.2019).

Web 2, (2012), <http://www.baka.org.tr/uploads/1349952570biyokutle-sektor-raporu-11eylul.pdf>, (Eriřim Tarihi: 27.05.2019).

Web 3, (2012), <http://makinecim.com/bilgi5357fermantasyon-ile-biyoetanol-eldesi>, (Eriřim Tarihi: 31.05.2019).

Web 4, (2018), <https://www.iea.org/renewables2018>, (Eriřim tarihi: 05.06.2019).

Web 5, (2017), IEA, Technology Roadmap: Delivering Sustainable Bioenergy; https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology_roadmap_delivering_sustainable_bioenergy.pdf, (Eriřim Tarihi: 05.06.2019).

Web 6, (2005), <http://www.bbibiofuels.com/ethanolevolution>, (Eriřim Tarihi: 16.06.2019).

Web 7, (2013), <http://www.petder.org.tr> , (Eriřim Tarihi: 16.06.2019).

Web 8, (2012), http://www.konyaseker.com.tr/biyoetanol_uretim_tesisleri , (Eriřim Tarihi: 16.06.2019).

Web 9, (2012), <http://www.tezkim.com/alt.php?lang=tr&content=about> , (Eriřim Tarihi: 16.06.2019).

Zabed H., Sahu J. N., Suely A., Boyce A. N., Faruq G., (2017), "Bioethanol production from renewable sources: current perspectives and technological progress.", Renewable And Sustainable Energy Reviews, 71, 475–501.

Zaldivar J, Nielsen J, Olsson L., (2001), “Fuel ethanol production from lignocellulose: a challenge for metabolic engineering and process integration.” Applied Microbiology and Biotechnology, 56:17–34.

ÖZGEÇMİŞ

Enes Yılmaz 1991 yılında Kocaeli/Gebze’de doğdu. 2009 yılında başladığı Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nü 2014 yılında başarıyla tamamlayarak aynı yıl yüksek lisans eğitimine Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında başladı. 2016-2017 yılları arasında Gebze Teknik Üniversitesinde TÜBİTAK-1001 projesinde proje asistanı olarak çalıştı. Ağustos 2017 tarihinden itibaren İçişleri Bakanlığı Adli Bilişim Uzmanı olarak Kocaeli Emniyet Müdürlüğünde görev yapmaktadır.

EKLER

Ek A: TÜİK 2016/2017 Ürünler Tablosu

Ürün	Piyasa yılı	Üretim (Ton)	Ekilen alan (Hektar)	İthalat (Ton)	Tüketim (Ton)	Tohumluk kullanım (Ton)	Yemlik kullanım (Ton)	İşlenen kısım (Ton)	Endüstriyel kullanım (Ton)	İhracat (Ton)	İhracat-AB 27-28 (Ton)	Stok değişimi (Ton)	Kişi başına tüketim (Kg)	Yeterlilik derecesi (%)
Products	Marketing year	Production (Tonnes)	Area sown (Ha)	Imports (Tonnes)	Human consumption (Tonnes)	Seed use (Tonnes)	Animal feed (Tonnes)	Processing (Tonnes)	Industrial use (Tonnes)	Exports (Tonnes)	Exports-EU 27-28 (Tonnes)	Change in stocks (Tonnes)	Human consumption per capita (Kg)	Degree of self- sufficiency (%)
Tahıl (Toplam) Cereals (Total)	2016/17	34 361 164	11 349 212	5 850 339	16 309 043	1 986 290	14 069 985	.	254 235	8 238 485	170 545	-3 325 291	204	97,2
Arpa Barley	2016/17	6 700 000	2 740 052	208 402	62 980	548 010	6 061 132	.	230 974	47 856	1 143	- 602 000	1	89,2
Buğday (Toplam) Wheat (Total)	2016/17	20 600 000	7 671 945	4 586 405	14 490 086	1 380 950	2 304 811	.	.	7 463 969	160 586	-2 167 000	182	103,8
Buğday (Diğer) Wheat (Others)	2016/17	16 980 000	6 433 273	3 948 571	12 792 036	1 157 989	2 094 815	.	.	5 414 448	49 312	-1 946 000	160	97,1
Buğday (Durum) Wheat (Durum)	2016/17	3 620 000	1 238 672	637 834	1 698 050	222 961	209 996	.	.	2 049 521	111 274	- 221 000	21	153,4
Mısır Maize	2016/17	6 400 000	680 019	1 425 469	1 571 029	17 000	5 276 800	.	23 261	728 344	18 877	- 169 205	20	87,8
Patates Potato	2016/17	4 750 687	144 900	75 184	3 824 615	362 250	.	.	.	428 754	28 775	.	47,9	108,2
Kuru baklagil (Toplam) Dried pulses (Total)	2016/17	1 080 253	715 242	519 462	1 174 254	74 199	.	.	.	301 001	49 058	.	14,7	82,9
Ayçiçeği Sunflower	2016/17	1 670 716	720 108	2 864 007	2 526 357	10 802	.	.	.	1 974 923	21 015	- 42 503	31,7	64,0
Pamuk (çiğit) Cotton (seed)	2016/17	1 260 000	416 010	85	1 147 612	16 640	.	.	.	12 559	4 299	14	14	101,0
Şeker pancarı Sugar beet	2016/17	20 828 316	339 217	0	.	.	.	18 715 614	.	0	0	0	.	100,0

Ek B: ETKB Tarımsal Atıkların Bulunduğu Tablo

İl	Buğday (Ton/Yıl)	Mısır (Ton/Yıl)	Şeker Pancarı (Ton/Yıl)	Arpa (Ton/Yıl)
Konya	2.045.298,00	2.527.680,00	224.563,12	647.406,40
Ankara	1.205.676,00	254.235,60	21.149,08	532.132,00
Diyarbakır	1.151.524,00	507.211,20	0	131.594,40
Şanlıurfa	917.545,00	1.077.190,80	964,8	194.638,40
Tekirdağ	825.714,00	375.586,80	564,24	55.220,80
Yozgat	734.593,00	51.081,60	71.560,04	68.096,00
Mardin	702.032,00	671.688,00	0	54.092,00
Balıkesir	653.733,00	1.640.856,00	547,4	50.737,60
Adana	621.872,00	1.586.506,80	875,16	9.694,40
Çorum	607.956,00	126.854,40	9.791,24	163.407,20
Eskişehir	580.788,00	289.766,40	49.543,56	229.532,00
Sivas	578.709,00	210.590,40	25.834,20	143.112,00
Edirne	529.083,00	488.646,00	1.300,00	20.902,40
Kırklareli	483.178,00	503.938,80	441,92	15.533,60
Kayseri	411.198,00	544.714,80	40.466,64	224.246,40
Kahramanmaraş	399.479,00	593.655,60	22.640,00	58.864,00
Afyonkarahisar	397.191,00	404.380,80	32.992,48	234.808,80
Tokat	330.844,00	299.991,60	25.443,00	56.645,60
Samsun	324.452,00	977.859,60	2.918,12	16.604,80
Amasya	321.756,00	458.378,40	19.914,16	58.430,40
Manisa	269.411,00	1.036.867,20	0	54.921,60
Hatay	256.986,00	334.581,60	0	2.428,00
Çankırı	252.563,00	7.482,00	905,64	51.016,80
Çanakkale	248.475,00	937.042,80	0	69.805,60
Adıyaman	243.739,00	121.026,00	21,6	166.199,20
Nevşehir	242.505,00	85.243,20	13.470,80	124.943,20
Aksaray	237.833,00	760.225,20	44.906,76	215.720,80
Kütahya	235.433,00	163.538,40	13.655,96	80.367,20

Kırıkkale	234.718,00	35.257,20	2.230,00	89.072,80
Mersin	234.011,00	351.266,40	0	11.971,20
Kırşehir	227.491,00	60.384,00	14.874,40	209.958,40
Denizli	220.254,00	944.090,40	10.896,32	119.875,20
Gaziantep	205.562,00	231.285,60	5.481,16	21.514,40
Muş	203.088,00	126.754,80	15.963,36	22.331,20
Antalya	200.888,00	330.932,40	4.442,68	64.271,20
Bursa	200.267,00	1.479.853,20	2.939,48	16.368,00
Erzurum	196.918,00	110.944,80	1.970,12	49.213,60
Batman	185.949,00	96.860,40	0	8.805,60
Şırnak	176.612,00	19.368,00	0	4.487,20
Niğde	168.487,00	247.641,60	5.906,12	53.123,20
Osmaniye	166.234,00	566.409,60	0	9.330,40
Karaman	160.292,00	625.792,80	28.871,52	97.900,80
Ağrı	152.993,00	30.603,60	2.142,44	69.488,80
Uşak	146.973,00	89.271,60	3.836,12	122.236,80
Burdur	144.600,00	420.217,20	7.095,16	58.787,20
İstanbul	142.757,00	46.984,80	75,2	21.736,80
Bolu	123.863,00	151.353,60	30,68	28.959,20
İzmir	113.277,00	3.367.227,60	0	33.712,80
Siirt	108.211,00	21.414,00	0	3.353,60
Isparta	105.577,00	109.167,60	5.049,44	81.008,00
Van	104.440,00	6.404,40	1.608,48	10.709,60
Muğla	101.374,00	585.776,40	64,84	25.328,80
Malatya	99.539,00	80.067,60	2.156,60	46.193,60
Kastamonu	96.060,00	228.470,40	7.386,40	23.551,20
Erzincan	95.319,00	127.299,60	16.154,12	29.480,00
Elazığ	93.174,00	84.079,20	3.545,44	91.920,80
Aydın	80.008,00	1.395.177,60	0	50.503,20
Bilecik	65.175,00	41.157,60	190,96	15.783,20
Kars	63.684,00	37.512,00	308,56	61.537,60
Bitlis	55.113,00	22.934,40	8.101,80	2.326,40

Kocaeli	54.608,00	223.831,20	0	15.680,80
Bayburt	50.171,00	92.412,00	630,68	14.812,00
Iğdır	46.732,00	321.408,00	186,56	9.558,40
Sinop	37.456,00	85.984,80	0	5.699,20
Gümüşhane	37.328,00	63.214,80	338,8	15.098,40
Sakarya	31.242,00	1.366.005,60	1.669,68	8.933,60
Bingöl	29.411,00	14.454,00	43,4	902,4
Kilis	27.645,00	120.382,80	0	5.604,00
Karabük	23.662,00	1.028,40	0	10.421,60
Bartın	18.446,00	301.464,00	0	1.499,20
Tunceli	17.473,00	702	0	16.530,40
Giresun	17.063,00	5.458,80	0	10.185,60
Hakkâri	12.465,00	11.108,40	0	40,8
Zonguldak	11.605,00	87.872,40	0	574,4
Ardahan	5.289,00	14,4	0	10.589,60
Yalova	3.040,00	5.500,80	0	1.377,60
Ordu	2.441,00	16.441,20	0	1.448,00
Düzce	2.158,00	265.111,20	31,4	85,6
Artvin	173	7.072,80	0	354,4
Rize	0,00	294	0	20,8
Trabzon	0,00	25.071,60	0	0
TOPLAM	20.910.882	32.123.613,6	778691,84	5.415.359,20