

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**BİYOKÜTLE ENERJİSİ POTANSİYELİNİN
TÜRKİYE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fahriye Enda ÇAĞAL**

Anabilim Dalı : Enerji Bilim ve Teknoloji

Programı : Enerji Bilim ve Teknoloji

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**BİYOKÜTLE ENERJİSİ POTANSİYELİNİN
TÜRKİYE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fahriye Enda ÇAĞAL**

(301071014)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 05 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. . Sermin ONAYGİL (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Filiz Karaosmanoğlu (İTÜ)
Doç. Dr. Nilgün Karatepe YAVUZ (İTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen, farklı kaynaklara ulaşmamda yol gösterici olan Sayın Hocam Prof. Dr. Sermin ONAYGİL'e şükranlarımı arz ederim. Tez çalışmamın her aşamasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, aile büyüğüm ve Değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Filiz KARAOSMANOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca attığım her adımda desteklerini her zaman hissettiğim, yola çıktığım tüm süreçlerde bana maddi ve manevi her konuda destek olan annem Tülay ÇAĞAL ve babam Tecer ÇAĞAL'a, daima şükran ve minnet borçluyum.

İstanbul, Mayıs 2009

Fahriye Enda ÇAĞAL
Orman Endüstri Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	ix
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ ve AMAÇ.....	1
2. BİYOKÜTLE ve BİYOKÜTLE ENERJİSİ	3
2.1 Fiziksel Dönüşüm Süreçleri.....	6
2.1.1. Su Giderme ve Kurutma.....	7
2.1.2. Boyut Küçültme.....	9
2.1.3. Yoğunluk Artırma.....	10
2.1.4. Doğrudan Yakma.....	11
2.2 Termokimyasal Dönüşüm Süreçleri.....	11
2.2.1. Doğrudan Yakma.....	11
2.2.2. Piroliz	14
2.2.3. Gazlaştırma.....	15
2.3 Biyokimyasal Dönüşüm Süreçleri	16
2.3.1. Fermantasyon.....	16
2.3.2. Anaerobik Bozunma	17
3. DÜNYA ENERJİ PROFİLİ ve BİYOKÜTLE ENERJİSİ.....	19
4. TÜRKİYE ENERJİ PROFİLİ ve BİYOKÜTLE ENERJİSİ	27
5. TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT YASAL YAPI ve BİYOKÜTLE ENERJİSİ	35
5.1 Enerji verimliliği Kanunu Kapsamında Biyokütle Enerjisi.....	35
5.2 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun Kapsamında Biyokütle Enerjisi	38
5.3. Elektrik Piyasasında Lisans Faaliyetleri.....	39
6.ÖRNEK BİR TESİS İNCELEMESİ.....	43
7.BİYOKÜTLE ENERJİSİ VE TÜRKİYE İÇİN DEĞERLENDİRME ve ÖNERİLER.....	48
8. SONUÇ.....	57
KAYNAKLAR.....	63

KISALTMALAR

Ar-Ge	:Araştırma Geliştirme
BTEP	:Bin Ton Eşdeğer Petrol
EPDK	:Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GW	:Gigawatt
GWth	:Gigawatt Ton Saat
KW	:Kilowatt
kWh	:Kilowatt Saat
Mha	:Milyon Hektar
MTEP	:Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	:Megawatt
ORKÖY	:Orman ve Köy-İlişkileri Genel Müdürlüğü
TEP	:Ton Eşdeğer Petrol
TMMOB	:Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
YEK	:Yenilenebilir Enerji Kaynağı

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Biyokütle Teknolojisi, Karakteristikleri ve Fiyatları.....	6
Çizelge 3.1 : Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Dışı Enerji Üretim Kapasitesi, 2006.....	22
Çizelge 3.2 : 2005 yılı verilerine göre OECD ve Avrupa Birliği Ülkelerinde Biyokütleden Elektrik Enerjisi Üretimi	22
Çizelge 3.3 : Yenilenebilir Elektrik Üretimi, 2006.....	23
Çizelge 4.1 : Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi, (1996-2006).	28
Çizelge 4.2 : Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Üretim Değerleri	29
Çizelge 4.3 : Türkiye'nin Yıllık Biyokütle Potansiyeli.....	31
Çizelge 4.4 : Türkiye'nin Temel Biyokütle Ürünleri.....	32
Çizelge 4.5 : Türkiye'nin Orman Potansiyeli	33
Çizelge 4.6 : Türkiye'nin Tarımsal Artık Potansiyeli, 2001	34
Çizelge 4.7 : Türkiye'deki Hayvansal Atıkların Toplam ve Dönüştürülebilir Biyokütle Potansiyeli.	34
Çizelge 5.1 : Yürürlükte Olan Lisanslar, Nisan 2009 itibariyle.	42
Çizelge 7.1 : Biyogaz Üretimine Uygun Hayvan Cinslerinin Bölgesel Dağılımı	53
Çizelge 7.2 : Geleneksel ve Planlanmış Modern Biyokütle Enerjisi Üretimi	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Biyoyakıt Teknolojisi.....	5
Şekil 3.1 : Dünya Birincil Enerji Talebi, Referans Senaryo.....	19
Şekil 3.2 : Küresel Nihai Enerji Tüketiminde Yenilebilir Enerji Paylaşımı, 2006.	20
Şekil 3.4 : 2004-2005 Yıllarında Yenilenebilir Enerjinin Kaynaklar Açısından Dağılımı.	24
Şekil 3.5 : Avrupa Birliğinde Biyogaz Üretimi Yoluyla CO ₂ Emisyonunun Azaltılması	26
Şekil 4.1 : Türkiye Birincil Enerji Tüketiminin Kaynaklara Dağılımı.....	27
Şekil 4.2 : Türkiye Nihai Enerji İhtiyacının Karşıllanması	30
Şekil 4.3 : Türkiye Brüt Elektrik Enerjisi Üretim ve Talebinin Gelişimi, (1996-2006).	31
Şekil 5.1 : Lisans Akış Şeması.....	41
Şekil 6.1 : Biyogazdan ısı ve elektrik üretim şeması.....	47
Şekil 7.1 : Birincil Enerji Kaynakları Tüketim Dağılımı	48
Şekil 7.2 : Birincil Enerji Kaynakları Yerli Üretimi Yüzdesel Dağılımı	49
Şekil 7.3 : Yıllık Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Değerleri Dağılımı	50
Şekil 7.4 : Türkiye'nin Temel Biyokütle Ürünleri Potansiyelleri ve Enerji Değerleri Dağılımı	51
Şekil 7.5 : Orman Potansiyelinin Kaynak Dağılımı	52
Şekil 7.6 : Tarımsal Artıkları ve Enerji Potansiyelleri	52
Şekil 7.7 : Toplam Alan İçersinde Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünlerin Ekili Alan Yüzdesel Dağılımı	53
Şekil 7.8 : Biyogaz Üretimine Uygun Hayvan Sayısının Coğrafi Dağılımı	54

BİYOKÜTLE ENERJİSİ POTANSİYELİNİN TÜRKİYE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Son yıllarda dünya enerji gündeminde ağırlıklı bir yer işgal eden belli başlı konular olarak enerji verimliliği, alternatif yakıt seçeneklerinin uygulanabilirliği, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji kullanımının yol açtığı çevre sorunları için aranan ve üretilen çözümler sayılabilir. Bütün bu konularla ilgili olarak Türkiye’de de çok çeşitli araştırmalar yapılmış, çok sayıda kitap ve makale yayımlanmıştır.

Yukarıda sayılan bütün konularla ilgili olan ve günümüz enerji kullanımında giderek kendine önemli bir yer edinen biyokütle enerjisi; sürdürülebilir kalkınma, çevre duyarlılığı ve enerji verimliliği kapsamında değerlendirilmeye uygun potansiyeli ile öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, yeni ve temiz kaynaklarla verimli ve sürdürülebilir enerji üretiminin giderek önem kazanması gerektiği düşüncesi ile biyokütle ve biyokütle enerjisi hakkında kaynak tarama çalışması yapılmıştır. Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunlara çözüm olabilecek biyokütle enerjisi, biyokütle enerjisinin Dünya enerji profili ve Türkiye profilindeki yeri değerlendirilmiştir. Türkiye’deki yasal yapı içerisinde biyokütleden enerji üretiminin yeri ve uygulanabilirliği için gereken süreçler ile lisans alımı incelenmiştir. Biyokütleden enerji üretimine örnek olarak enerji kullanımının yoğun olduğu sanayide biyogaz kullanarak elektrik ve ısı enerjisi üretimi yapan bir biyorafineri tesisi incelenmiştir. Son bölümde ise ülkemiz şartlarına uygun olan biyokütle enerjisi kaynakları değerlendirilmeye alınarak, Türkiye için biyokütle enerjisi kaynak alternatifleri sunulmuştur.

THE EVALUATION OF BIOMASS ENERGY POTENTIAL WITH FOCUS ON TURKEY

SUMMARY

In recent years, among the certain topics occupying the world energy agenda are energy efficiency, the applicability of the alternative fuel options, renewable energy resources, the solutions sought and produced for the environmental issues stemming from the energy use. In Turkey, various studies have been carried out and many books and articles have been published on all these issues.

The biomass energy that is related with all the issues mentioned above and that has gained a significant place for itself in today's energy use has become prominent with the significant advantages it has such as sustainable development, environmental awareness and its grand potential to be evaluated within the context of energy efficiency.

Within this study, literature review has been made with a view that the issue of efficient and sustainable energy production with new and clear resources should gradually gain importance. The issues such as biomass energy that may solve the problems such as limited fossil fuel reserves and climate change, the biomass energy profile that will be a remedy for the insufficient reserve amount of primary energy resources and external dependency in energy production of Turkey and that will contribute greatly to the security of supply, and the place of the biomass energy in the current legal legislation have been addressed. A biorefinery facility producing electrical and heat energy from biogas in the heavy energy consuming industry has been examined. In the last section sources of biomass energy appropriate for Turkey have been inspected and alternative sources for biomass energy have been presented.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Sözlük anlamı ile enerji, “etkin güç” olarak nitelendirilmektedir. Genel tanımı ile bir cismin ya da sistemin iş yapabilme gücü olarak tanımlanan enerji; bilimsel olarak bir sisteme ilave edildiğinde veya sistemden çıkarıldığında sistemin en az bir özelliğini değiştiren olgudur. İnsanoğlu dünyada, yaşamını sürdürmek için en çok çevresini değiştiren canlı türüdür. Herhangi bir maddesel eleman üzerinde bir değişiklik yapmak istenildiğinde, enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Bir başka deyişle, her türlü imalat, her türlü taşıma ve her türlü eylem için enerjiye ihtiyaç vardır. Bu nedendir ki; olağan günlük yaşantımızdan, tüm sanayi faaliyetlerine kadar eylemlerin her aşaması için enerji gereklidir [1].

Tüm faaliyetler için girdi durumunda olan enerjiye bazı faaliyet tipi veya eylem türlerinde daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Enerjiye en çok ihtiyaç duyulan faaliyet grubu ham maddeleri işlemek, enerji kaynaklarını yaratmak için kullanılan yöntemlerin ve araçların bütünü olarak tanımlanan sanayidir. Hammadde ve enerji kaynaklarının kapasitelerinin sınırlı olmasına karşın, hammaddeye ve enerjiye gereksinimin sürekli ve her zaman hızlı bir biçimde artış göstermesi ve birincil enerji kaynaklarının rezervlerinin kısıtlı olması, insanlığı geleneksel olmayan yeni kaynaklar bulmaya zorlamaktadır.

Birincil enerji kaynaklarının rezervlerinin kısıtlı olmasının yanı sıra, yakıt fiyat artışı, nüfus artışı, endüstrileşme, ulusal kaynakların değerlendirilmesinin zorunluluğu, mevcut yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve iklim değişikliği sorunu yeni enerji teknolojileri kapsamında, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını gerekli kılmaktadır [2].

Yenilenebilir (Yeni-Temiz-Tükenmez-Alternatif) Enerji Kaynakları:

- Güneş Enerjisi
- Rüzgâr Enerjisi
- Biyokütle Enerjisi

- Sugücü (hidrolik enerji, jeotermal enerji, deniz enerjisi (dalga enerjisi, sıcaklık gradyent enerjisi, akıntı enerjisi ve gel-git enerjisi)) [2].

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşmesi ile giderek artan enerji gereksinimini çevreye kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir.

Biyokütle enerjisi çeşitli üstünlükleri ile öne çıkmaktadır. Bu üstünlükler şöyle sıralanabilir [3] :

- Hemen hemen her yerde yetiştirilebilme
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi
- Her ölçekte enerji üretimi için uygunluk
- Düşük ışık şiddetlerinin yeterliliği
- Depolanabilir olma
- 5-35° C arasındaki sıcaklıkların yeterliliği
- Sosyoekonomik gelişmelerde önemli olması
- Çevre kirliliği oluşturmama (NO_x ve SO₂ salınımlarının çok düşük olması)
- Diğer enerji kaynaklarına göre sera etkisi oluşumuna daha az sebep olması
- Atmosferde CO₂ dengesinin sağlanması
- Asit yağmurlarına yol açmaması [3].

Biyokütle enerjisinden ısı, elektrik ve taşıtlar için yakıt olarak yararlanılmaktadır. Biyokütleden ısı ve elektrik, yakma (geleneksel ve endüstriyel yöntemler) ve dolaylı yakma yöntemleriyle elde edilmektedir. Biyokütlenin mevcut yakıtlara eşdeğer alternatif katı, sıvı ve gaz biyoyakıt üretilerek enerji teknolojisinde kullanımı ise, doğrudan yakma ile veya fiziksel ve kimyasal süreçlerle sağlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında biyokütle ve biyokütle enerjisi, Dünya enerji profili ve biyokütle enerjisi, Türkiye enerji profili ve biyokütle enerjisi, Türkiye'deki yasal yapı içerisinde biyokütle enerjisi konularında kaynak tarama çalışması yapılmış ve Marmara Bölgesinde seçilen bir biyorafineri tesisteki birleşik ısı güç üretimi örneği incelenmiştir. Türkiye için mevcut biyokütle potansiyeli değerlendirilmiştir.

2. Biyokütle ve Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, tükenmez bir kaynak olması, her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyoekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeni ile uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Petrol, kömür, doğalgaz gibi tükenmekte olan enerji kaynakları kısıtlı olduğu, ayrıca fosil yakıtlar çevre kirliliği oluşturduğu için biyokütle kullanımı enerji sorununu çözmek için giderek önem kazanmaktadır.

Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm doğal maddelerden üretilen enerji “Biyokütle Enerjisi” olarak tanımlanmaktadır. Doğaları gereği biyokütle enerji kaynakları çok çeşitlidir.

Deniz ve/veya karada bulunabilen bitkisel veya hayvansal biyokütle enerji kaynakları şunlardır [2]:

- Odun (enerji ormanları, ağaç artıkları),
- Yağlı tohum bitkileri (ayçiçek, kolza, soya, aspir, pamuk, v.b),
- Karbo-hidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, v.b),
- Elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, sorgum, v.b.),
- Bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk v.b),
- Hayvansal atıklar
- Şehirselle ve endüstriyel atıklar

Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerde güneş enerjisinin fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürülerek depolanması sonucu oluşmaktadır. Güneş enerjisinin biyokütle biçimindeki depolanmış enerjiye dönüşümü, insan yaşamı için esastır. Yenilenebilir enerji yaratan fotosentez, canlı organizmaların fotosentez sonucu oluşması ve bütün yaşamın güneş enerjisinin depo edildiği oksijene bağlı olması açısından önemlidir.

Fotosentez yoluyla enerji kaynağı olan organik maddeler sentezleşirken tüm canlıların solunumu için gerekli olan oksijen de atmosfere verilir. Fotosentez ile enerji içeriği yaklaşık olarak 3×10^{21} J/yıl olan organik madde oluşmaktadır. Bu değer dünya enerji tüketiminin 10 katı enerjiye karşılık gelmektedir [2].

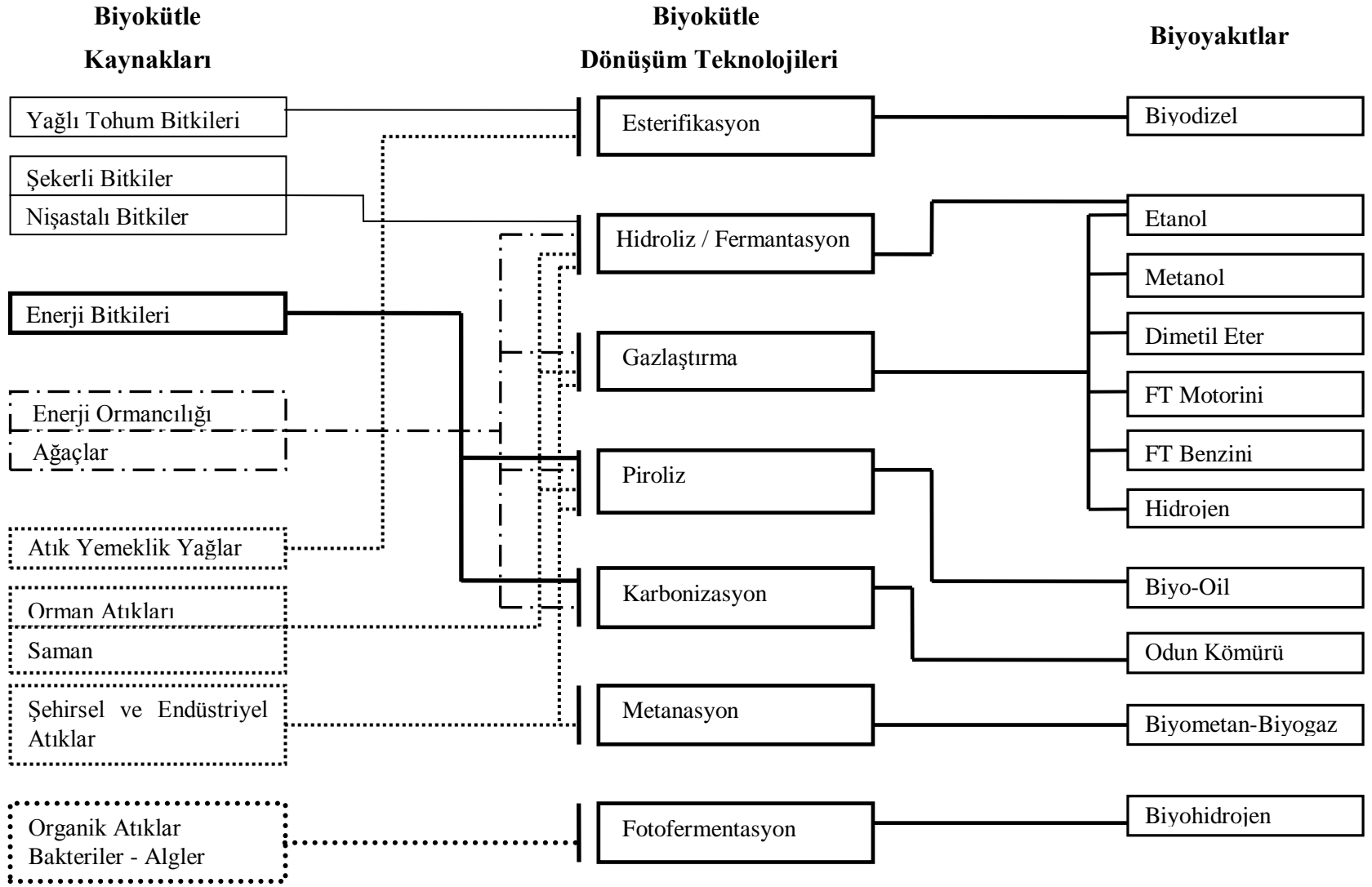
Fotosentez sonucu oluşan biyokütlenin enerjisi 100.000 büyük nükleer güç santralinin verdiği güce (9×10^7 MW) eşit olabilmektedir. Yeşil bitkiler ve fotosentetik organizmalar üzerine gelen güneş ışınları iki ana işlevi yerine getirir: (1) Kimyasal tepkimeler için sıcaklık denetimi, (2) Karbon ve oksijen üretimi için elektronların ışıkla uyarılması [3].

Fotosentezde üretilen organik madde esas olarak karbondioksittir. Eğer bu kuru madde oksijenle yakılırsa açığa çıkan ısı, yaklaşık 16MJ/kg veya 3800 kcal/kg (her bir karbon atomu için 4,8 eV) demektir. Biyokütleden ikincil yakıtlar elde edildiğinde, ısı değerler, örneğin, etanol için 30 MJ/kg (7200 kcal/kg) ve biyogaz için ise 20 MJ/kg (4800 kcal/kg) olmaktadır [3].

Üretilen organik maddelerin yakılması sonucu açığa çıkan karbondioksit (CO_2) ise, daha önce bu maddelerin oluşumu sırasında atmosferden alınmış olduğu için, biyokütleden enerji elde edilmesi sırasında çevre, CO_2 salınımı açısından korunmuş olacaktır. Yani yaşam döngüsü analizlerine bakıldığında biyokütleden enerji üretiminde CO_2 salınımı nötrdür.

Biyokütle enerji kaynakları, kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil kökenli alışlagelmiş enerji kaynaklarından farklı bazı özellikler taşımaktadır. Biyokütle kaynakları, genellikle homojen olmayan bir yapıda, yüksek su ve oksijen içerikli, düşük yoğunluklu, düşük ısı değerlidir; bu özellikler yakıt kalitesine olumsuz etki etmektedir. Biyokütlenin olumsuz özellikleri fiziksel süreçler ve dönüşüm süreçleri ile ortadan kaldırılabilmektedir [2].

Biyokütleden; fiziksel süreçler (boyut küçültme-kırma ve öğütme, kurutma, filtrasyon, ekstraksiyon ve birikitleme) ve dönüşüm süreçleri (biyokimyasal ve termokimyasal süreçler) ile yakıt elde edilmektedir. Şekil 2.1'de Biyokütle Dönüşüm Süreçleri ve Biyoyakıt Teknolojisi şematik olarak gösterilmektedir. [2].



Şekil 2.1: Biyoyakıt Teknolojisi [2].

Çeşitli biyokütle kaynaklarından dönüşüm teknolojileri ile elde edilen biyoyakıtların sahip oldukları tipik karakteristiklerine bağlı olarak, kWh başına üretilen enerji fiyatları da farklı olmaktadır. Çizelge 2.1’de biyokütle teknolojilerine göre oluşan enerji fiyatları gösterilmektedir [4].

Çizelge 2.1: Biyokütle Teknolojisi, Karakteristikleri ve Fiyatları [4].

Teknoloji	Karakteristik	Enerji Fiyatları
Güç üretimi:		
Biyokütle gücü	Üretim büyüklüğü: 1-20 MW	5-12 (U.S cent/kWh)
Sıcak su/Isınma: Biyoyısı	Üretim büyüklüğü: 1-20 MW	1-6 (U.S cent/kWh)
Biyoyakıt:		
Etanol	Hammadde: şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, sorgum, buğday	25-30 (U.S cents/litre) (şeker) 40-50 (U.S cents/litre) (mısır)
Biyodizel	Hammadde: soya fasulyesi, kolza, hardal tohumu, atık sebze yağları	40-80 (U.S cents/litre)
Tarımsal (off-grid) Enerji:		
Biyogaz	Bozunma büyüklüğü: 6-8 m ³	mevcut değil
Biyokütle gazlaştırma	Büyüklük: 20-5.000 kW	8-12 (U.S cent/kWh)

2.1. Fiziksel Dönüşüm Süreçleri

Mikroalglerin ve bazı yüksek nem içerikli biyokütlelerin dışında biyokütlelerin tümü genellikle katı maddelerden oluşmakta ve organik bileşiklerin yanı sıra çeşitli mineraller ve nem içermektedir. Suda yaşayan biyokütlenin, kentsel biyokatıların ve hayvan gübrelerinin nem içerikleri yüksektir; karasal biyokütle türlerinin nem içerikleri ise bağıl olarak daha azdır. Odunsu biyokütle türlerinin kül içerikleri az olmasına karşın, suda yaşayan bazı biyokütle kaynakları ve tarımsal atıklar çok miktarda kül içerirler. Kuru ve külsüz bazda, çoğu biyokütlenin ısı değeri dar bir aralıkta değişir; fakat kuru bazda bu değerler önemli değişimler gösterirler. Bu farklılıktan ötürü, birçok mevcut hammadde-proses-enerji ürün kombinasyonları uygulanabilir değildir. Örneğin, işlem görmemiş kentsel biyokatılar büyük miktarda nem içerdikleri için termokimyasal dönüşüm süreçlerinin uygulanması önerilmez.

Bu tür maddeler, nem içerikleri önemli ölçüde düşürülmedikçe geleneksel yakma sistemlerinde de yakılamazlar.

Buna karşılık, odunsu biyoküteller bir katı yakıt olarak doğrudan kullanılmaya veya termokimyasal süreçlerle diğer yakıtlara dönüşüme daha uygundur. Nemin bir kısmını uzaklaştırmak gerektiğinde işlem, düşük maliyetle kolayca gerçekleştirilebilmektedir [5].

2.1.1. Su Giderme ve Kurutma

Su giderme, biyokütlenin içerdiği nemin tamamının veya bir kısmının sıvı halde biyokütleden uzaklaştırılmasıdır. Kurutma da benzer bir işlemdir; fakat nem buhar halinde uzaklaştırılmaktadır. Biyokütleden doğrudan yakma veya termokimyasal dönüşüm yöntemleriyle enerji üretiminin gerçekleştirildiği durumlarda, hammaddenin önceden kurutulmuş olması tercih edilmektedir. Aksi takdirde, enerji veya yakıt formunda üretilenden daha fazla enerjinin dönüştürme prosesinde tüketilmesi söz konusu olabilmektedir. Açık havada güneş altında kurutabilmek için yeterli kararlılığa sahip olmayan hammaddeler, maliyetin izin vermesi durumunda, sprey kurutucular, döner kurutucular gibi endüstriyel kurutucular ve konveksiyon fırınları kullanılarak daha hızlı bir şekilde kurutulabilirler. Büyük ölçekli kurutma uygulamaları için, zorlanmış hava dolaşımli fırınlar ve kurutma sistemlerinde sıcak baca gazlarından yararlanmak etkin yöntemlerdir.

Yüksek nem içeren biyokütleden su giderme amacıyla kullanılan sistemler; çeşitli tipteki filtreleri ve eleme cihazlarını, santrifüjleri, hidrosiklonları, presleri, su ekstraktörlerini, koyulaştırıcıları, berraklaştırıcıları ve flotasyon cihazlarını kapsamaktadır.

Yüksek nem içerikli biyokütleden su giderilmesi sırasında çok sayıda problemle karşılaşmaktadır. Suda yetişen biyokütle kaynaklarındaki nemin su giderme yöntemleri ile doğrudan fiziksel olarak ayrılması, biyokütlenin, hücre duvarlarını bozan fiziksel işlemler uygulanmadıkça uygun olmamaktadır. Açık havada güneş altında kurutma, ifade edildiği gibi nem giderme için az masraflı bir seçimdir; fakat yüksek nem içerikli biyokütle türlerinin çoğu bu koşullar altında bozunmaya başlar, bazıları oldukça hızlı bir şekilde karbon ve enerji içeriklerinin büyük bölümünü kaybederler. Buna karşılık, kentsel katı atıkların nem içerikleri genellikle, söz konusu atık ağırlıkça % 5-20 katı madde içerecek şekilde azaltılır ve bazı ileri su giderme yöntemleri ile katı madde içeriği ağırlıkça % 50 veya daha fazla oranda

yükseltilebilir.

Su giderme süreçleri uygulanarak elde edilen su içeriği azaltılmış biyoyakıtların bazıları doğrudan yakılabilir veya termokimyasal dönüşüm süreçlerine uğratılmak üzere düşük nem içerikli biyoyakıtlar ile birlikte kullanılabilir.

Yüksek nem içeren biyokütlenin su içeriğinin azaltılması ile ilgili zorluklar göz önüne alındığında, bu tür biyokütle kaynaklarının nem içeriğinin azaltılmasını veya kurutulmasını gerektirmeyen mikrobiyolojik dönüşüm süreçleri ile değerlendirilmesi de uygun bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kurutma için kullanılan en yaygın yöntem, biyokütlenin, sıcak ve düşük nemli hava dolaşımına maruz bırakılmasıdır. Açık havada güneş altında kurutma, odunların ve çimenler için uzun yıllardır kullanılmaktadır ve bu ihtiyacı karşılamaktadır. Havada kurutulmuş biyokütlenin son nem içeriği genelde ağırlıkça % 35 veya daha azdır. Bu kurutma yönteminin en önemli üstünlüğü maliyetinin düşük olmasıdır. Diğer yandan işlem yavaştır ve yerel iklime bağlıdır. Ayrıca, yeni toplanmış taze biyokütlenin güneş ışığına veya hava dolaşımına maruz kalmasını kolaylaştıracak şekilde yığılması için işgücüne ihtiyaç vardır. Toprak ile doğrudan temas halinde olan bitki kısımlarının kurummasını sağlamak ve yaş biyokütlenin mantar enfeksiyonlarını önlemek amacıyla bu yığınların periyodik olarak alt-üst edilmesi gerekmektedir. Yem bitkileri geleneksel olarak açık havada kısmen kurutulup araziden uzaklaştırılmakta ve besin değerinde önemli bir kayıp meydana gelmeden depolanabileceği nem değerlerinde farklı ortamlarda kurutma işlemine devam edilmektedir. Güneşte kurutma balyalama yoluyla kuru otların ve samanın yoğunluğunun artırılmasını da kolaylaştırmaktadır.

Kontrol altında tutulan koşullar altında fırında kurutma, yapı malzemesi veya mobilya üretimi için kullanılan ürünlerin kararlılığını ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla yaygın olarak uygulanmaktadır. Havada kurutma ise yakıt olarak kullanılacak ağaç parçalarının ve odunların iyileştirilmesi ve kurutulması için geleneksel olarak uygulanmaktadır. Fırında kurutma sırasında kurutma işlemi hızlandırmak amacıyla fırın içine dikkatlice yığılmış odunların arasından doğal olarak veya fan ya da üfleçler vasıtasıyla ısıtılmış hava sirküle edilir. Büyük hacimlerdeki odunun kesikli kurutulmasında havanın sıcaklığı yavaş yavaş artırılabilir; genellikle son sıcaklık ve nem oranı sırasıyla 363 °K ve % 15 civarında olmaktadır. Fırında kurutma, açık havada güneş altında kurutmaya göre daha

hızlıdır; fakat kurutucu ve depolama tesislerinin boyutları ön kurutması yapılmış hammaddeler için yeterli olmadığında, bazı sürekli termokimyasal dönüştürme prosesleri yavaş olabilmektedir.

Taze veya atık biyokütle hammaddesinden nem giderme gerektiğinde; hava ile kurutma, mekanik olarak su giderme ve atık ısı veya baca gazları ile kurutma işlemleri öncelikle değerlendirilmelidir. Çünkü dışarıdan bir yakıt yakılarak gerekli ısının sağlandığı termal kurutmanın maliyeti ile kıyaslandığında bu yöntemler, daha düşük maliyetli olmaktadır [5].

2.1.2. Boyut Küçültme

Biyokütlenin yakıt veya hammadde olarak kullanılmasından önce genellikle boyut küçültme gerekmektedir. Biyokütlenin doğrudan yakıt olarak kullanımı için yakıt peletlerini ve briketlerini üretmek veya çeşitli dönüşüm süreçleri için biyokütlenin tanecik veya parçalar halinde olması; depolama hacmini azaltır, malzemenin katı haldeki kullanımını kolaylaştırır, malzemenin bulamaç halinde veya pnömatik olarak taşınmasını kolaylaştırır ve bazen kabuk ile beyaz odun gibi bileşenlerin kolayca ayrılabilmesine izin verir.

Yakıtın optimum boyutu yakma kamarasının ve ısı değiştiricinin tasarımı, çalışma koşulları gibi parametreler ile belirlenmektedir. Termal gazlaştırma ve sıvılaştırma prosesleri için, tanecik boyutu ve boyut dağılımı; dönüşüm hızını, prosesin çalışma koşullarını ve ürün verimi ile bileşimini etkileyebilmektedir. Biyolojik dönüşüm süreçleri de hammaddenin fiziksel boyutundan etkilenmektedir. Genelde, daha küçük boyutlu tanecikler kullanıldığında, proste kullanılan enzimler ve mikroorganizmalar ile temas yüzey alanının yüksek olması nedeniyle, dönüşüm hızı artmaktadır.

Yakıt veya hammadde olarak kullanılacak biyokütlenin tanecik boyutu önceden belirlenmemişse (talaş, fındık-ceviz kabukları ve diğer birkaç atık biyokütle hammaddesinde olduğu gibi) boyut küçültme, toplam işleme sisteminin başındaki bir veya daha fazla ünite ile gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla birçok farklı türde makine kullanılmaktadır. Tarımsal ürünler ile odunsu biyokütle genellikle farklı tipteki makineler ile işlenmektedir.

Makinelerin temel tiplerinin ve biyokütle için kullanımının kısaca gözden geçirilmesi, boyut küçültme ekipmanlarının çeşitliliğini ve onların biyokütle ile ilgili

uygulamalarını ortaya koymaktadır. Boyut küçültme enerji tüketimi ve maliyeti yüksek bir işlemdir.

Kuru parçalayıcılar, biyokütlenin boyutunu küçültmek için ticari olarak kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan iki tip dikey ve yatay şaftlı çekiçli değirmenlerdir. Dönen şaftlar üzerindeki metal çekiçler tanecik boyutunu ızgara açıklıklarından seçecek şekilde küçültürler, beslenen maddenin tanecik boyutu çarpma etkisi ile küçülür. Çekiçli değirmenler boyut küçültmek amacıyla şehirsal katı atık işleme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çekiçli değirmenler, tarımsal kesiciler ve ağaç yongalayıcısı olarak da kullanılmaktadır. Bıçaklı kanatçıklar ile donatılmış olan, kesme veya makaslama etkisi ile tane boyutunu küçülten dönen kesiciler de aynı uygulamalar için kullanılırlar; ancak, kapasiteleri genellikle çekiçli değirmenlerin kapasitelerinden düşüktür [5].

2.1.3. Yoğunluk Artırma

Balyalama; kuru ot, saman ve pamuk gibi diğer tarımsal ürünlerin araziden kaldırılmasını kolaylaştırmak ve depolama alanı ile taşıma masraflarını azaltmak amacıyla uzunca bir zamandan beri kullanılmaktadır. Balyalanmış saman ağırlıkça % 10-15 nem içeriğinde 70-90 kg/m³'lük bir yoğunluğa sahiptir; oysa yığın halindeki samanın yığın yoğunluğu yaklaşık olarak bu yoğunluk aralığının sadece % 5-15'i kadardır. Özel olarak tasarlanmış kalıplar ve preslerde; peletler, briketler veya küpler oluşturacak şekilde saman preslenirse, yoğunlukları 350-1200 kg/m³'e yükseltilebilmektedir. Kurutulmuş odun 600-700 kg/m³'lük yoğunluğa ve 350-450 kg/m³'lük yığın yoğunluğuna sahip iken; odun briketlerinin yoğunlukları ve yığın yoğunlukları sırasıyla 1400 kg/m³ ve 700-800 kg/m³'e kadar çıkabilmektedir.

Enerji üretimi ve hammadde olarak kullanımda, yoğunlaştırılmış atık biyokütlenin potansiyel üstünlükleri olduğu bilinmektedir. Yüksek yoğunluklu, fabrikasyon biyokütle formları; kullanım ve depolama sistemlerini basitleştirir, biyokütlenin kararlılığını iyileştirir, katı biyokütle yakıtlarının fırınlara ve hammaddelerin reaktörlere beslenmesini kolaylaştırır ve daha yüksek enerji yoğunluğu, daha temiz yanan katı yakıtlar sağlar. İşlemler düzgün yapılabildiğinde bazen kömürün ısı değerine bile yaklaşılabilir. Ancak, yoğunlaştırılmış biyokütle yakıtların ve hammaddelerin kullanımında karşılaşılan temel sorun üretim maliyetidir [5].

2.1.4. Ayırma

Bazı durumlarda, potansiyel biyokütle hammaddelerinin farklı uygulamalar için iki veya daha fazla bileşene fiziksel olarak ayrılması istenmektedir. İşlenen biyokütle türlerinin geniş bir aralıkta değişmesi ve farklı ayırma yöntemleri uygulandığı için konu kapsamlıdır. Taze biyokütlenin hasat edilmesi bile fiziksel ayırma teknolojilerini kapsamaktadır. Bitkisel biyokütlenin gıda maddelerine ve sentetik yakıt üretimi için bir hammadde veya yakıt olarak hizmet edebilen atıklara ayrılması; çeşitli kimyasalları yalıtım amacıyla deniz biyokütlesinin ayrılması; kentsel atıkların yanabilir kısmının yakıt olarak ve geri dönüşüm için metaller, cam ve plastiklerin ayrılması; yağlı tohumlardan yağın ayrılması kimyasal ayırma işlemleri örnekleridir. Eleme, hava ile sınıflama, manyetik ayırma, ekstraksiyon, basınç altında mekanik olarak sıkıştırma, distilasyon, filtrasyon ve kristalizasyon gibi işlemler ise fiziksel ayırma amacıyla kullanılmaktadır [6].

2.2. Termokimyasal Dönüşüm Süreçleri

Biyokütle çeşitlerinden potansiyel olarak olası enerji miktarının yanında, en uygun formu belirleyen diğer özellikler; nem içeriği, selüloz/lignin oranı ve kül içeriğidir. Odun talaşları gibi kuru biyokütle (nem içeriği <math>< 50\%</math>) yakma ve gazifikasyon gibi termokimyasal proseslere daha uygunken, şeker kamışı gibi yüksek nem içerikli (>math>50\%</math>) biyokütle, fermentasyon ve anaerobik çürütme gibi ıslak dönüşüm proseslerine uygundur. Selüloz/lignin oranı söz konusu olduğunda, bu parametre sadece biyokimyasal dönüşüm proseslerini etkiler. Kül içeriği bakımından ise, düşük yüzdeler hem termokimyasal hem de biyokimyasal prosesler için tercih edilmektedir. Aşağıda doğrudan yakma, piroliz ve gazlaştırma başlıkları altında termokimyasal dönüşüm süreçleri hakkında bilgi sunulmaktadır.

2.2.1. Doğrudan Yakma

Günümüzde biyokütleden sağlanan enerjinin %95'inden fazlası biyokütlenin doğrudan yakılması ile elde edilmektedir [5]. Yakma; biyokütle enerjisini ısı, mekanik güç veya elektriğe dönüştürmede kullanılır. Net dönüştürme verimleri %20-40 arasında değişmektedir [7]. Biyokütlenin doğrudan yakılarak enerji üretilmesi, bilinen en eski yöntem olmasına karşın, son yıllarda verimi yükseltmek amacı ile yeni yakma sistemleri geliştirilmektedir. Özellikle biyokütle ile çalışan termik santral

yapımında akışkan yataklı sistemler alışlagelmiş yakma sistemlerinin yerlerini almaktadır. Hemen her türlü biyokütle kaynağını doğrudan yakmak olanaklıdır. Ancak, nem oranı yükseldikçe elde edilen ısı değer azalır.

Biyokütlenin doğrudan yakılması; biyokütle ile oksijenin hızlı kimyasal tepkimesi sonucu ısının açığa çıkması, eşzamanlı olarak da biyokütlenin organik kısmının son oksitlenme ürünleri olan su ve karbondioksit dönüşmesidir. Yanma tepkimesi sonucu açığa çıkan enerjinin miktarı biyokütlenin yanma entalpisinin bir fonksiyonudur. Yanma entalpsi termodinamik veriler yardımıyla hesaplanabilmektedir [5].

Doğrudan yakma, biyokütleden enerji üretiminde kullanılan en basit yöntemdir ve selülozun ($C_6H_{10}O_3$) deneysel formülü ile ifade edilebilmektedir.



Karbondioksit (CO_2) ve su (H_2O) süreç boyunca enerji ile birlikte elde edilen son ürünlerdir. 1900'lerin ilk yıllarına kadar endüstrileşmiş birçok toplum, biyokütle yanmasından ve bununla ilgili ısınma, pişirme, kimyasal ve odunkömürü üretimi ve buhar oluşumu ile mekaniksel ve elektriksel güç gibi termal proseslerden geniş oranda yararlanmıştı [5].

Zaman içinde düşük ölçekli katalitik odun fırınları düşük emisyonlu daha yüksek sıcaklıkta ve verimde çalışacak şekilde geliştirilmiştir. Orta ve büyük ölçekli yakma fırınları ise ısı dönüşüm kapasiteli ve yüksek verimli olarak, kentsel katı atıkların minimum emisyonla geri dönüşümü için tasarlanmışlardır. Modern kazan sistemleri de kentsel ve kamu hizmeti için odun, kentsel katı atıklar, kullanılmış atıklar ve diğer biyoyakıtlar için uygulanabilmektedir. Fırında kuru biyokütlenin doğrudan yanması sonucunda elde edilen ısı, biyokütle tipine bağlı olarak 16-24 GJ/t arasında değişmektedir [6].

Alev içerisindeki sıcaklık; tepkime süresinin, yanma şiddetinin, alev hızının ve çevreye transfer olan enerjinin bir fonksiyonudur. Yakma kamarasında, katı biyokütlenin yanmasına ait mekanizmanın adım adım ilerleyen bir proses olduğu görülebilmektedir. Önce kamaraya beslenen biyokütlenin fiziksel olarak içerdiği nem buharlaşır. 423-473 °K 'de katı biyokütlenin termal bozunması ve bunun sonucu meydana gelen uçucu çıkışı biyokütle yüzeyinden başlar ve bu yanıcı gaz karışımı yanma kamarasında yanar. Uçucu çıkışı sonucu geriye kalan karbonlu kalıntıdaki

yakıt bileşenleri, 673-1073 °K veya daha yüksek sıcaklıklarda oksijenin yüzeye difüzyonu ile yanmaktadır. Bu sıcaklık aralığı; sıcak yanma gazlarından ve yakma kamarası yüzeylerinden radyant enerjinin absorplanması yoluyla sağlanmaktadır. Yakma kamarasına giren taze yakıtın kuru olması ve yakma prosesinin dikkatlice kontrol altında tutulması durumunda 1773 °K gibi yüksek sıcaklıklara ulaşmak olasıdır [6].

Biyokütlenin doğrudan yakıldığı sistemlerin birçoğu için uygun ekipman seçimi; kullanılan yakıtın tipine, miktarına ve karakteristiklerine; istenen son enerji formuna (ısı, buhar, elektrik); sistemin tesisteki diğer sistemlerle ilişkisine (bağımsız, entegre); geri dönüşümün uygulanıp uygulanmamasına; atıkların yok edilmesi için gereken yöntemlere ve çevresel faktörlere bağlıdır. Etkin ve büyük ölçekli biyokütle yakma sistemlerinin tasarımı birçok parametrenin ve donanım bileşeninin ayrıntılı olarak analiz edilmesini gerektirmektedir. Bunlar arasında; biyokütlenin nem, uçucu madde, kül içerikleri, bileşimi ve ısıl değerinin sayısal değerleri ile değişim aralıkları; biyokütlenin kullanım, kurutma ve öğütme ekipmanları; fırın tasarımı ve buna bağlı olarak ısı transfer ihtiyacı ve konstrüksiyon malzemeleri; yanma ve emisyon kontrolleri; külün bileşimi, ergime sıcaklığı, aglomerasyon karakteristikleri ve bertarafı; baca gazı bileşimleri ve emisyon sınırlandırmalarını karşılamak için ihtiyaç duyulabilen işlemler yer almaktadır. Geleneksel biyokütle yakma ekipmanında, katı yakıtın yanması yatay veya eğimli çelik ızgaralar üzerinde veya ızgaranın üzerindeki derin olmayan süspansiyon içerisinde meydana gelmektedir [5].

Doğrudan yakmalı gaz türbinleri, biyokütleden enerji üretiminde kullanılan diğer bir sistemdir. Gaz türbininin kompresör kısmı, harici bir basınçlı yakıcıda biyokütleyi yakmak için gerekli basınçlı yanma havasını temin eder. Sıcak yanma gazları, jeneratörü çalıştırmak için bir siklonik ayırıcı içerisinden gaz türbininin sıcak bölgesine geçerler. Yaklaşık 753 °K'de gaz türbininden çıkan sıcak atık gazlar ya doğrudan ısıl enerji kaynağı olarak kullanılabilir ya da proses buharını üretmek üzere bir buhar jeneratörünü besler. Kojenerasyon sistemlerinde bu iki enerji tipinin tam olarak kullanılması sistem verimini % 70'in üzerine çıkarabilmektedir. Bu tip doğrudan yakmalı türbinlerin 5 MW'a kadar kapasiteli küçük ve orta boyutlu endüstriyel ve ticari uygulamalar için uygun olduğu düşünülmektedir. Düşük kül ve % 15'den daha az nem içeren ve 0,3 mm'den daha küçük kabuksuz odun tanecikleri tercih edilen yakıttır; fakat işlenmiş diğer biyokütleler de kullanılabilir [6].

İleri yakma sistemleri ve fosil yakıtlarla beslenen bileşik yakma sistemlerinde, işlenmemiş biyokütle ve kompleks atık biyokütle hammaddelerini ısıya dönüştürme, buhar ve elektrik gücü elde etmek için geliştirilmiş yakma prosesleri uygulanabilir. Bu tür uygulamalar kısa dönemde biyokütle enerjisinin kullanımını arttırabilecektir.

Biyokütle hammaddesi, bir buhar kazanında kullanılan kömürün % 20'sinin yerine kullanılabilir. Kömür/biyokütlenin birlikte yakımı, tek başına biyokütle yakan güç sahalarındaki biyokütle yakımı ile karşılaştırıldığında, daha yüksek verimli ve daha düşük maliyetli olmaktadır. Diğer yandan yakıt karışımlarında biyokütle içeriği yaklaşık % 10 olan mevcut sistemlerde, partikül boyutu sınırlamaları sorun olmaktadır. Biyokütlenin diğer yakıtlarla birlikte yakılmasının faydaları; daha düşük işletme giderleri, zararlı emisyonların azaltılması ve daha büyük enerji güvenliği olarak sıralanabilmektedir [7].

2.2.2. Piroliz

Biyokütle pirolizi, oksijensiz ortamda ısıl bozunma ile biyokütlerdeki organik bileşenlerin yüksek verimli kullanışlı sıvı ve katı ürünlere dönüşümü olarak tarif edilebilir. Piroliz işlemleri ile elde edilen çeşitli yakıtlar, solventler, kimyasallar ve diğer ürünler ticari üretimler için kullanılabilir. Biyokütle hammaddesi türü ve bileşimi; reaksiyon sıcaklığı, basıncı, süresi; katalizör derecesi; ürün seçiciliği ve ürün çeşidi gibi bağımsız değişkenlerin etkilerinin tanımlanabilmesi ileri biyokütle piroliz proseslerinin gelişmesine neden olmuştur. Bu değişkenlerdeki büyük deneysel birikimlerin sonucu olarak, geleneksel uzun süreli piroliz yöntemleri kullanılarak, biyokütlenin direk ısıl dönüşümü ile sıvı yakıtlara ve yüksek verimli çeşitli kimyasallara dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Geleneksel piroliz, çoğunluğunu oksijenin yokluğundaki lignoselülozik polimerlerin oluşturduğu organik bileşenlerin yavaş ve tek yönlü ısıl bozunmasından ibarettir. Yavaş piroliz, biyokütlenin enerji içeriği yüksek ve daha değerli ürünlere dönüşümünü sağlamak amacı ile oksijensiz ortamda uzun sürede gerçekleştirilen ısıl bozundurma sürecidir. Yavaş piroliz genelde odun kömürü üretmek için kullanılmaktadır [5].

Hızlı piroliz ise, yüksek sıcaklıkta kısa sürede gerçekleşen ısıl bozundurma sürecidir. Bu süreçte biyokütle, havasız ortamda hızla ısıtılır, bozunma sonucu açığa çıkan gazlar yoğunlaşarak koyu kahverengi bir sıvıya dönüşür. Oluşan sıvı ürün piroliz sıvısı, piroliz yağı, biyo-yağ, biyo-petrol, biyo-yakıt, piro-odunsu asit, odun sıvısı,

odun yağı, odun distilatı gibi birçok şekilde adlandırılır ve doğrudan yakıt, benzin, dizel yakıtı üretimi ve çeşitli kimyasalların eldesi için kullanılır. Bir başka deyişle, geleneksel yakıtlara alternatif bir yakıttır ve dünya petrol rezervlerinin azalmasıyla da gittikçe önem kazanmaktadır. Biyokütlenin ham petrole dönüşüm verimi, çok hızlı piroliz prosesleriyle % 70'e ulaşmaktadır. Bu ürün, biyo-petrol olarak adlandırılır ve motorlarda ve türbinlerde kullanılabilir. Rafineriler için hammadde olarak kullanımı da düşünülmektedir [7].

2.2.3. Gazlaştırma

Gazifikasyon, biyokütleyi karbonmonoksit, hidrojen ve metandan oluşan yanabilir bir gaz karışımına dönüştürür. Elde edilen gaz, orijinal katı biyokütleden (genellikle odun veya odun kömürü) daha esnektir, proses ısısı ve buhar üretmek için yakılabilir veya elektrik üretmek için gaz türbinlerinde kullanılabilir [7].

Biyokütle gazlaştırma prosesleri genellikle, düşük ve orta seviyeli enerji yakıt gazları, kimyasallar imal etmek için yapılanmış gazlar veya hidrojen üretmek için tasarlanmaktadır [5].

Biyokütle hammaddeleri yüksek oranda uçucu madde içermektedir. Örneğin tipik bir kömürün uçucu madde içeriği % 30-45 arasında iken, bu değer odunda % 70-90'dır. Çoğu biyokütle hammaddeler orta sıcaklıklarda kolayca uçucu hale gelmekte ve bu organik uçucular hemen gaz ürünlere dönüştürülebilmektedir. Çoğu biyokütle hammaddesinin gazlaştırılması sonucunda oluşan katı ürünler yüksek reaktiviteye sahiptir ve hızla gazlaşmaktadır. Piroliz için gereken ısı, genellikle bir gaz yakıtın yakılmasıyla üretilmektedir. Özellikle besleme hammaddesine, ısıtma hızına, piroliz sıcaklığına ve reaktörde bekleme süresine bağlı olarak değişen miktarda katı ürün, katran, yağlı sıvılar, gazlar ve su buharı oluşmaktadır [5].

Gazlaştırma işlemi, gazlaştırıcı denenen katı yakıtların oksidantlar (hava, oksijen, buhar, hidrojen, karbon dioksit veya bunların çeşitli karışımları) ile temas edebileceği yakıt yatağı şeklinde hazırlanmış bir reaktör içinde meydana gelmektedir [8].

Gaz yakıtın kullanımına göre gazlaştırıcılar iki grupta toplanabilir;

- **Isıl gazlaştırıcılar:** Kazanlarda, ocaklarda ve kurutucularda yakıtın alevli yanmasıyla,
- **Güç kaynaklı gazlaştırıcılar:** İçten yanmalı motorlarda mil gücü sağlamak için kullanılırlar [8].

Gazlaştırma reaktörünün özelliğine göre de;

- Sabit Yataklı Gazlaştırıcılar
- Akışkan Yataklı Gazlaştırıcılar
- Entegre Yataklı Gazlaştırıcılar olarak sınıflandırılmaktadır.

Akışkan ve entegre yataklı gazlaştırıcılar gazlaştırma için güçlü ve işlevsel olmalarına rağmen, genellikle projesi, inşası ve işletilmesi çok pahalı olduğu için küçük ölçekli işletmeler (1MW) için önerilememektedir. Sabit yataklı gazlaştırıcılar, proje ve inşası basit olduğu için özellikle gelişmekte olan ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yatırım, işletme ve bakım masrafları akışkan ve entegre yataklı gazlaştırıcılardan daha uygundur [8].

Bileşik gazifikasyon/bileşik gaz-buhar çevrimleri kullanıldığında, biyokütle dönüşüm verimleri % 50'ye ulaşabilmektedir [7].

2.3. Biyokimyasal Dönüşüm Teknolojileri

Mikroorganizmaların çoğu, biyokütlenin karbonhidrat bileşenlerinin sıvı yakıtlara veya sıvı yakıt ön ürünlerine biyokimyasal dönüşümünde katalizör gibi davranmaktadır. Mikroorganizmalar tarafından oluşturulan çeşitli enzim sistemleri aslında gerçek katalizörlerdir. Biyokimyasal dönüşüm süreçleri altında fermantasyon ve anaerobik bozunma başlıkları altında bilgi verilecektir.

2.3.1. Fermantasyon

Fermantasyon, genellikle anaerobik şartlarda mikroorganizmaların olduğunda, kompleks organik bileşenlerin bozunması esnasında oluşan enzimlerle katalize edilmiş enerji verimli kimyasal reaksiyonlarla alakalıdır [5].

Biyoküttelede değişik oranlarda hemiselüloz ve lignin bulunmaktadır. Selüloz enzimatik hidrolizinin arkasından uygulanan, kimyasal hidroliz, enzimler veya

kimyasal işlemler ile glikoz parçalanabilir. Glikozun fermantasyonu ile etanol, aseton, bütanol ve ham petrol ürünlerinden elde edilen ürünlere eş değer birçok kimyasal ürün elde edilebilir. Bu kimyasal ürünler, petrolden çıkarılan kimyasal ürünler yerine kullanılabilir. Diğer bir deyişle selüloz, glikoz ve diğer birçok ürün için ucuz bir biyokütle kaynağıdır. Selülozdan yakıt ve organik kimyasal üretimi, günümüzde çok iyi bilinmekte ve ekonomik olarak kabul edilmektedir. Selülozun hidrolizini engelleyen ligninin uzaklaştırılması için, biyokütleyi önceden daha küçük parçalara ayırmak ise oldukça maliyeti arttırmaktadır. Selülozdan alkol elde edilmesi ise dört basamaklı bir işlem gerektirmektedir: Fermente selüloz elde etmek için ayrı bir mayalama işlemi yapmak. fermente selülozu ayırmak, fermente selülozu hidroliz işlemine tabi tutmak, alkol elde etmek için mayalamaktır [3].

Fermentasyon, biyokütle sıvılarını yakılabilir yakıt olan alkole dönüştürür. Fermentasyon, çürütmeye benzer bir proseste mikroorganizmalarca hammaddenin dönüşümünü gerektirir ancak ürünler metan yerine alkol veya organik asittir. Fermentasyonla hammadde enerji dönüşümü, yaklaşık 20 GW etanol'lük küresel bir üretimle geniş ölçekte kullanımdadır. Fermentasyonla, şeker içeren biyokütleden etanol üretimi için genellikle şeker bir ezme prosesiyle ekstrakte edilir, sonra su ve mayayla karıştırılır ve bir fermentörde belli sıcaklıkta bekletilir. Maya, şekeri metanole dönüştürerek bozundurulur. Bir distilasyon işlemi suyu uzaklaştırır ve çekip çıkarılan ve sıvı bir forma yoğunlaşan konsantre etanolü üretir. Genelde kullanılan fermentasyon işlemlerinde çoğunlukla nişasta ve şekerleri dönüştürülürken, selüloz maddeleri içeren daha verimli fermentasyon işlemleri de söz konusudur. Selülozik biyokütleyi kolaylıkla fermente edilebilir şekerlere dönüştürmek için asit hidrolizi kullanılmaktadır. Asit hidrolizi, lino selülozun selüloz ve hemiselüloza, sonra da son olarak glukoz ve pentozlara (temel olarak xyloz) parçalanmasını gerektirir. Enzimatik hidroliz, selüloz ve hemiselülozun parçalanmasını katalizleyen enzimleri kullanarak fermentasyon yapmak için yeni bir uygulamadır. Selülazlar olarak adlandırılan farklı enzimler, selüloz veya hemiselülozu farklı noktalarda molekül içinde parçalar. Aşırı sıcaklıklarda stabil olan selülazları oluştururken, yüksek verimliliğe sahip olacak organizma tipinin belirlenmesi önemlidir [7].

2.3.2. Anaerobik Bozunma

Bazı mayalayan mikroorganizmalar biyokütleyi doğal gaz bileşiminin ana yakıtı olan metana (CH_4) çevirebilmektedir. Metanı açığa çıkaran bu proses metan

fermantasyonu ya da anaerobik bozunma olarak adlandırılmaktadır. Bu proses oksijenin yokluğunda ve anaerobik bakterilerin karışık popülasyonunda gerçekleşir. Dünya çapında uygulanan anaerobik bozunma ya tek başına ya da diğer işlemlerle birlikte evsel, kentsel, tarımsal, endüstriyel biyokütle artıklarını ve atık suları dengeleme ve yok etmek için kullanılmaktadır. Bozunma esnasında, atıkta bulunan biyolojik oksijenin gerektirdiği organik atıkların toplamı ve patojenik organizmalar azalır. İşlenmemiş birçok biyokütle parçaları da aynı yöntemle gazlaştırılabilir. Anaerobik bozunmanın oluşturduğu biyokütle gaz (biyogaz) temel olarak metan ve karbon dioksit bileşiminden ve az miktarda da hidrojen sülfür ve oksijen gibi diğer gazlardan oluşmaktadır. Anaerobik bozundurucu, biyogazı kuru prensipte % 40-70 mol arasında değişen ve 15,7 ve 29,5 MJ/m³ arasındaki yüksek sıcaklık hacminde sabit verimde işletmektedir. Kuru doğal gaz ve saf metan ise yaklaşık 39,3 MJ/m³ ısı değerindedir [5].

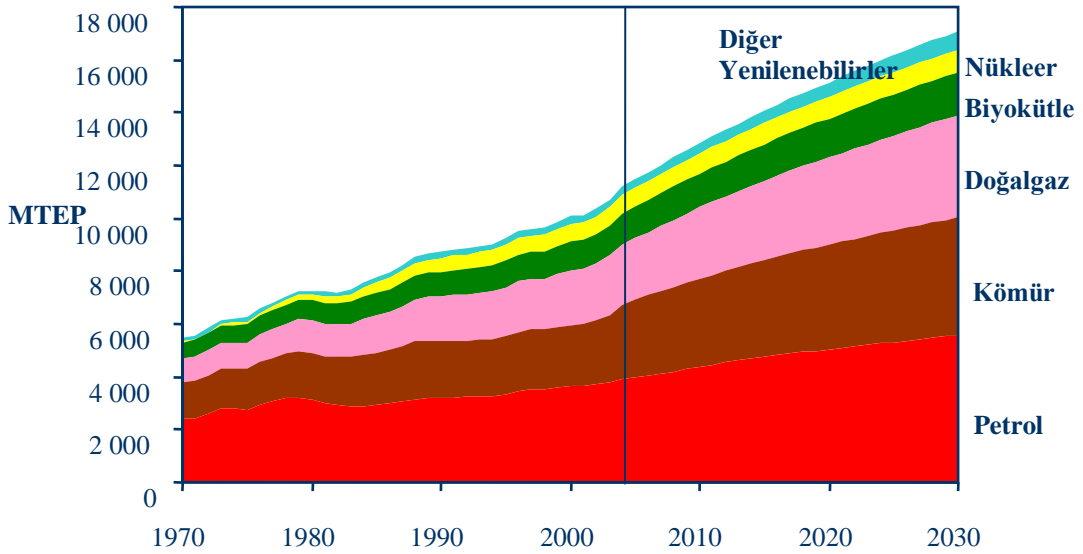
Bu karakteristiklerinden ötürü hayvan gübresinden ve insan artıklarından anaerobik bozunma ile oluşturulan biyogaz doğal gaza alternatif bir gaz yakıt olarak doğrudan yakma-ısıtma ve ısıtma işlemi, motor ve türbin yakıtı olarak, yakıt pili ve doğalgaz içine katkı olarak ya da kimyasalların üretiminde kullanılmaktadır [9].

Fiziksel ve kimyasal dönüşüm süreçleri ile biyokütlenin enerji teknolojisinde elektrik ve ısı üretmek amacıyla kullanımında en yaygın olarak biyokütlenin doğrudan yakımı, biyokütlenin gazlaştırılması, biyokütleden biyogaz üretimi, biyokütleden çöp gazı üretimi söz konusudur. Biyokütlenin kojenerasyon tesislerinde elektrik ve ısı üretimi amacı ile kullanımı da uygundur.

3. Dünya Enerji Profili ve Biyokütle Enerjisi

İnsanlığın varoluşundan bu yana, yaşam gereksinimlerinin karşılanması için enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ülkelerin hızla kalkınması ve üçüncü dünya ülkelerinin de modern enerji kaynaklarına ulaşması sonucunda dünya toplam enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta ve enerji, çağımızın en önemli stratejik değeri haline gelmektedir.

Enerjiye olan ihtiyaç ve fosil yakıt tüketim değerleri arttıkça, temiz ve hemen kullanılabilir enerji kaynakları konusunda sayıları hızla artan çok ciddi çalışmalar ve araştırmalar yapılmaktadır. Birincil enerji talebi referans senaryosuna göre (Şekil 3.1), kömür, petrol ve doğalgazın 2030 yılına kadar etkinliğini koruyacak, biyokütle ise önemli bir yenilenebilir kaynak olacaktır [10].

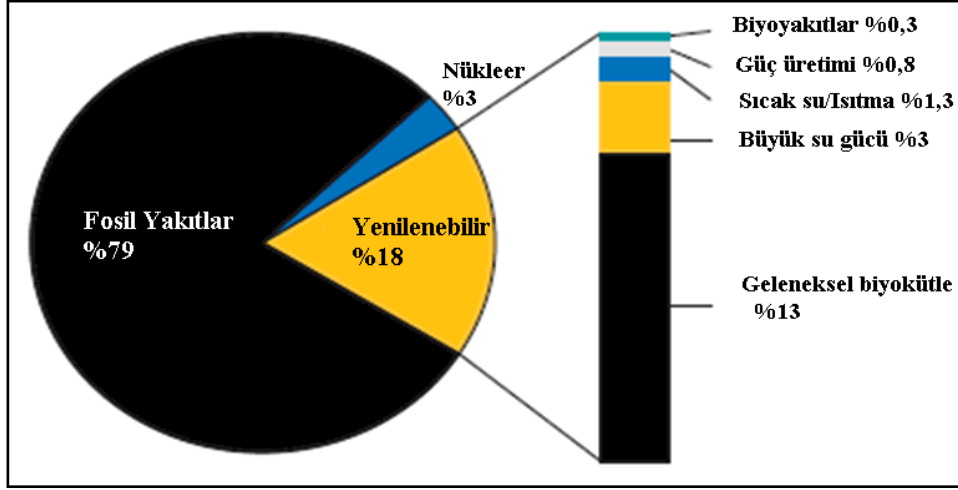


Şekil 3.1: Dünya Birincil Enerji Talebi, Referans Senaryo [10].

Uluslararası Enerji Ajansının 2006 verilerine bakıldığında dünyada tüketilen 8.084 milyar ton eşdeğer petrol enerjinin, %43,1 petrol, %16,7 elektrik, %15,3 doğal gaz, %12,9 yenilenebilirler ve atıklar, %8,6 kömür ve %3,4 oranında jeotermal, güneş, rüzgâr ve ısı enerjisinden oluştuğu görülmektedir [11].

Yenilenebilir enerji kaynakları dünya nihai enerji tüketiminin %18'ini oluşturmaktadır. Şekil 3.2'de 2006 yılı küresel nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerji paylaşımı görülmektedir [4].

Önümüzdeki yıllarda geleneksel biyokütlenin modern tesislerde biyoenerjiye dönüşümü ile elde edilecek biyoyakıt ürünlerinin yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olacağı öngörülmektedir.



Şekil 3.2: Küresel Nihai Enerji Tüketiminde Yenilenebilir Enerji Paylaşımı, 2006 [4].

Dünya enerji tüketiminin % 16,7'sini oluşturan elektrik tüketimi 2006 yılında 1.137 milyar ton eşdeğer petrol olup bu değer, % 56,7'si bina, tarım ayrımı gibi tarımsal uygulamalar, hizmet ve ticaret sektörü, binalar ve diğer alanlarda, % 41,6'sı sanayide, % 1,7'si ulaşımda kullanılmıştır [11].

Dünyada en çok elektrik üreten ülke 2005 yılı verilerine göre 4.062.000 milyon kWh/yıl ile Amerika Birleşik Devletleri'dir. İkinci sırada 2.372.000 milyon kWh/yıl ile Çin yer almakta, üçüncü sırada ise 1.025.000 milyon kWh/yıl üretimi ile Japonya bulunmaktadır. Türkiye ise Rusya, Hindistan, Kanada, Almanya, Fransa gibi ülkelerden sonra 154.200 milyon kWh/yıl üretim değeri ile 21. sırada yer almaktadır [12].

2006 yılı verilerine göre Amerika Birleşik Devletleri elektrik üretimi %48,9 oranında kömürden, %20 oranında doğal gazdan, %19,3 oranında nükleer enerjiden, %7,1 oranında hidroelektrik enerjisinden, %2,4 oranında biyokütle, rüzgâr, jeotermal, güneş enerjisinden, %0,7 de diğer enerji kaynaklarından sağlamaktadır [13].

İçinde bulunduğumuz duruma bakıldığında, verilerden de görüldüğü gibi dünyamızda halen sanayileşmiş büyük ülkeler başta olmak üzere enerji ihtiyacı büyük oranda fosil kökenli yakıtlardan sağlanmaktadır. Bu durumun olumsuzlukları şöyle sıralanabilir:

- Bu yakıtlar dünyada belli bölgelerde toplanmıştır ve bu ülkeleri kontrolü altında tutan egemen güçler enerjinin kontrolünü sağlamaktadır.
- Fosil yakıt rezervleri sınırlıdır. Yapılan araştırmalar fosil yakıt kullanım artışının aynı oranlarda olduğu takdirde 2030 yılında bu rezervlerin önemli miktarda azalacağını göstermektedir.
- Fosil yakıtlar yanma sonucu yoğun karbondioksit ve karbon monoksit salmaktadır. Bu maddeler atmosferi kirlettiği gibi sera etkisi sebebiyle küresel ısınmalara yol açmaktadır. Şimdiden buzulların erimeye başladığı ve hızlı çölleşme süreci bilinen bir gerçektir.

Bu olumsuzlukların ilk ikisiyle mücadele mümkün görülmemektedir. Üçüncüsü için de yapılabilecek 3 alternatif olasıdır:

- Karbondioksit salınım oranındaki artışı azaltmak amacıyla enerji verimlilik uygulamalarını geliştirmek;
- Karbondioksit absorplama özelliklerinden dolayı ormanları korumak, yeni orman alanları oluşturmak
- Enerji kaynağını değiştirmek

Son yıllardaki yenilenebilir enerji, özellikle biyokütle enerjisi yatırımlarının ve kullanım oranlarının yükselmesi, enerji verimlilik uygulamaları içerisinde ve enerji kaynağının değiştirilmek istenmesi kapsamındadır. Bu amaçla dünyada çeşitli atılımlar söz konusudur. Çizelge 3.1’de 2006 yılı itibariyle dünya yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik dışı enerji üretim kapasitesi verilmektedir [14].

Çizelge 3.1: Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Dışı Enerji Üretim Kapasitesi, 2006 [14].

Güç Üretimi	Kapasite
Su Isıtma/ Hacim Isıtma:	
Biyokütle Isıtma	235 GWth
Güneşli Su Isıtıcılar	105 GWth
Jeotermal Su Isıtma	33 GWth
Motorlu Araç Yakıtı:	
Ethanol (Alkol) Üretimi	39 Milyar Litre/Yıl
Biyodizel	6 Milyar Litre/Yıl

Dünya elektrik enerjisi üretiminde biyokütle, hidroelektrik ve rüzgâr türbinlerinden sonra 3. sırada yer almaktadır. Toplam yenilenebilir güç kapasitesinde biyokütle ısıtmada 235 GWth ile birinci sırada ve elektrik üretiminde ise 45 milyar litre/yıl değeri ile yer almaktadır. Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının artarak %6'ya ulaşması beklenmektedir. En önemli artış oranı güçlü hükümet desteklerinin bulunduğu OECD-Avrupa'da gerçekleşecek, özellikle rüzgâr ve biyokütle enerjisi, kullanımı en fazla artan kaynaklar olacaktır [16]. Çizelge 3.2'de 2005 yılı verilerine göre OECD ve Avrupa Birliği ülkelerinde biyokütleden elektrik enerjisi üretimi (GWh) verilmektedir [14]. Çizelge 3.3'de 2006 yılı itibariyle dünya yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi verilmektedir [15].

Çizelge 3.2: 2005 yılı verilerine göre OECD ve Avrupa Birliği Ülkelerinde Biyokütleden Elektrik Enerjisi Üretimi [14].

Ülkeler	Üretim (GWh)
ABD	48.453
Japonya	12.507
Almanya	10.495
Kanada	9036
Fransa	1821
İngiltere	8078
Kore	163
İtalya	3363
İspanya	2177
Avustralya	2030
Meksika	2595
Polonya	1510
Türkiye	34
İsveç	6967
Norveç	293
Hollanda	3989
Belçika	1264
Finlandiya	9261
Çek Cumhuriyeti	720
İsviçre	226

Çizelge 3.3: Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Üretimi GW, 2006 [15].

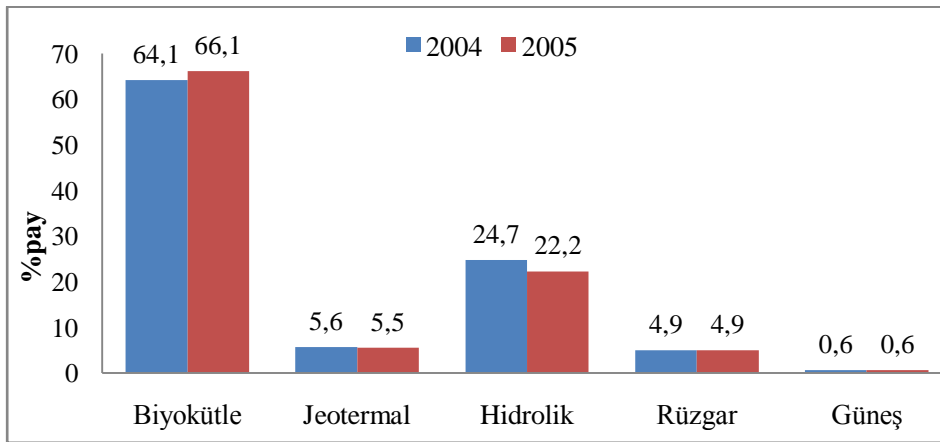
Yenilenebilir Elektrik Teknolojisi	Gelişmekte Olan Ülkeler	AB 25	Almanya	Çin	ABD	Dünya
Rüzgar Elektrik	10,1	48,5	20,6	2,6	11,6	74,0
Küçük Hidroelektrik	51,0	12,0	1,7	47,0	3,0	73,0
Güneş Elektrik	Yaklaşık 0	3,2	2,8	Yaklaşık 0	0,7	5,5
Jeotermal Elektrik	4,7	0,8	0,0	0,0	2,8	9,5
Gel-Git Elektrik	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3
Biyoelektrik	22,0	10,0	2,3	2,0	7,6	45,0
Toplam Yenilenebilir Elektrik Kapasitesi	88	75	27	52,0	26,0	207
Büyük Hidroelektrik	355	115	7	100	95	770

Avrupa Birliği Eylül 2001 tarihinde, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi yönergesini (*COM 2001/77/EC*) kabul etmiştir. Bu yönerge kapsamında:

- 2010 yılında elektrik enerjisinin %22'sinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması,
- Yeşil elektrik üretiminin artması ile 2010 yılında toplam enerji üretimi içinde yenilenebilir enerji kaynakları payının %12'ye ulaştırılması,
- Yeşil elektrik üretiminin artması ile sera gazı emisyonlarının azaltılması ve Kyoto Sözleşmesi'ne uyumun gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

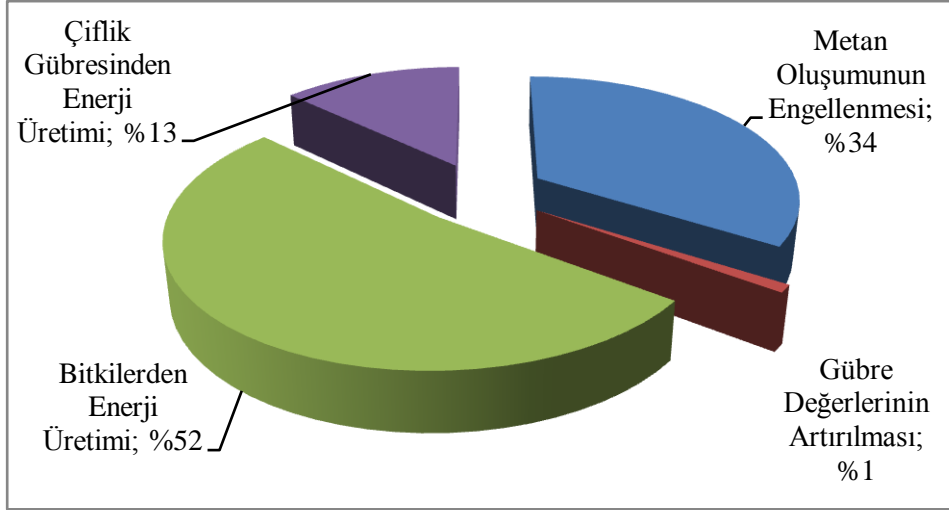
En az 48 ülkenin (34 gelişmiş ve 14 gelişmekte olan) yenilenebilir enerjilerden güç elde edilmesini destekleyen yasa ve yönetmelikleri vardır. Gelişmekte olan ülkeler içinde bu uygulamayı ilk benimseyen ülke Hindistan; Hindistan'ın ardından Sri Lanka, Tayland, Brezilya, Endonezya ve Nikaragua gelmektedir. Gelişmiş ülkeler arasında da, ABD, Almanya, İsviçre, İtalya, Danimarka, İspanya Yunanistan, İsveç, Portekiz, Norveç, Slovenya, Fransa, Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Litvanya, Macaristan, Kore, Slovak Cumhuriyeti, İsrail, Türkiye, İrlanda ve Çin yer almaktadır [17].

Biyokütle kaynaklarının sahip olduğu yüksek teknik potansiyel sayesinde diğer yenilenebilir enerji uygulamalarının zamanla önüne geçeceği öngörülmektedir. Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği raporuna göre; 2004-2005 yıllarında yenilenebilir enerjinin kaynaklar açısından dağılımı Şekil 3.4'de verilmektedir [24].



Şekil 3.4: 2004-2005 Yıllarında Yenilenebilir Enerjinin Kaynaklar Açısından Dağılımı [24].

Avrupa Birliği evre Komisyonu “yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve geliştirilmesi” konusuna büyük önem vermektedir. Biyokütlenin fermantasyonu sonucunda, anaerobik koşullarda oluşan metan gazı özellikle biyoktlece zengin olan tarım kesiminde büyük önem arz etmekte ve bu kesim enerji üretimi konusunda büyük destek görmektedir. Bu bağlamda özellikle Almanya ve Avusturya’da son yıllarda kurulan tesislerin sayısı hızla artmaktadır. Buna paralel olarak bu konudaki araştırma ve geliştirme çalışmaları da teşvik gördüğü için artış göstermektedir. Özellikle konunun tarım-evre-enerji politikaları ışığında bütünsel olarak ele alındığı biyogaz projeleri ön plandadır. Kırsal alanda biyogaz tesislerinin teşviki ve yatırımları bu kesimdeki sosyoekonomik iyileşmelerin gerçekleşmesine de katkıda bulunmuştur. 70’li yılların sonunda özellikle Avusturya biyogaz tesislerine çok önem vermiştir. Avusturya’da teknoloji üretici araştırma geliştirme çabaları artmıştır. 1992’den beri de Almanya’da biyogaz tesislerinin sayısı artmıştır. 82 milyon nüfusu olan Almanya’da 1650 biyogaz tesisi bulunmakta ve her 50.000 kişiye bir biyogaz tesisi düşmektedir 8 milyon nüfusu olan Avusturya’da ise 120 adet biyogaz tesisi bulunmakta, yani 67.000 kişiye bir biyogaz tesisi düşmektedir. Avrupa Birliği, Kyoto Sözleşmesi bağlamında; 2008-2012 döneminde sera gazı emisyonlarınının 1990 yılı seviyesine göre %8 (336 milyon ton CO₂) azaltılması konusunda bağlayıcı bir yükümlülüğe girmiştir. Bu nedenle AB, 2010 yılında brüt genel enerji tüketiminin %12’sinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması konusunda çalışmalar yapmaktadır. Avrupa’da bu hedefe ulaşmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi brüt talebi içindeki payının 2010 yılında %22’ye çıkarılması öngörülmektedir. Avrupa Birliğinde, biyogaz üretimi sayesinde de CO₂ emisyonlarında büyük oranda azalma gözlenmiştir (şekil 3.5). 211 milyon ton CO₂’e eşdeğer bir azalma söz konusudur. Bu konuda yapılan araştırma geliştirme çalışmaları hem mevcut tesislerin performansını geliştirmek, hem de daha iyi tesisler oluşturmanın yanı sıra, insan eğitimine de çok önem vermektedir. AB kaynakları eğitim konusunda da teşvik vermektedir [18].



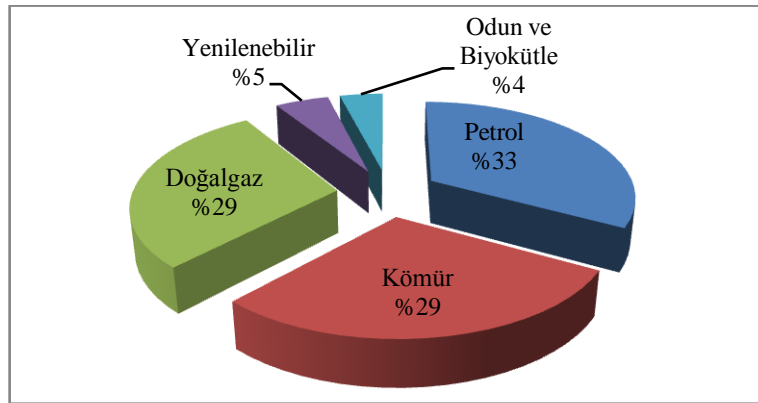
Şekil 3.5: Avrupa Birliğinde Biyogaz Üretimi Yoluyla CO₂ Emisyonunun Azaltılması [15].

Avrupa Birliğinin yanı sıra Amerika Birleşik Devletlerinde de yenilenebilir enerji uygulamaları her geçen gün artmaktadır. Ülkenin yenilenebilir enerjiden elektrik üretimi brüt 433.453 GWh olup, biyokütle enerjisinin payı ise %16,5'dir. Ülke yenilenebilir enerjiden ısı üretiminde sadece biyokütleden yararlanmakta ve brüt ısı üretimi 17.097 GWh olmaktadır. Biyokütle enerjisinin sıvı biyoyakıtlar dışındaki toplam tüketimini % 70,2'si endüstri, % 24,8'i konutlarda, % 4,36'sı hizmet sektörü, %0,54'ü tarımsal uygulamalarda kullanılmaktadır. Sıvı biyoyakıtlarının toplam tüketimi 17.506 milyon ton olup %97,9'u ulaşımda kullanılırken, % 3,1'i endüstride kullanılmaktadır [19].

4. Türkiye Enerji Profili ve Biyokütle Enerjisi

Türkiye'nin stratejik coğrafi konumu, Orta Doğu ve Hazar Denizindeki büyük petrol ve doğal gaz üreticisi alanlar ile Avrupa'daki tüketim pazarı arasında enerji köprüsü olmasını sağlamaktadır. Önemli yerli enerji kaynaklarının eksikliğine rağmen, Hazar petrollerini Avrupa pazarına sevk eden Cebelitarık Boğazı; Bakü-Tiflis-Ceyhan (BTC) doğalgaz boru hattı; Hazar petrollerini Rusya topraklarından geçmeden taşıyan birinci uluslar üstü boru hattı; Kuzey Irak petrollerinin ihraç edildiği Ceyhan limanına sahip olan konumu Türkiye'yi önemli enerji transfer ülkesi haline getirmektedir.

Büyüyen ekonomisi ile Türkiye, kendi bölgesinde önemli derecede enerji tüketir hale gelmiştir. Birincil enerji tüketimi yıllık ortalama % 9,98 oranında bir artışla 2006 yılı sonu itibariyle 97,9 BTEP (bin ton eşdeğer petrol) olmuştur. Çizelge 4.1'de 1996-2006 yılları arasındaki Türkiye birincil enerji kaynakları tüketim değerlerinin yıllar itibariyle gelişimi (1996-2006) BTEP olarak verilmiştir [20]. Türkiye birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımına bakıldığında (şekil 4.1) Türkiye 2006 yılı enerji tüketiminde, petrol ve doğalgaz %62'lik paya sahiptir bu kaynaklar [14]. Türkiye 2006 yılı enerji tüketiminde, petrol ve doğal gaz %62'lik paya sahiptir. Bu kaynaklarda %90'ın üzerinde dışa bağımlılık olduğu görülmektedir. Yerli ve sürdürülebilir kaynaklarımızın modern teknolojilerde etkin kullanımı dışa bağımlılığı azaltacaktır.



Şekil 4.1: Türkiye Birincil Enerji Tüketiminin Kaynaklara Dağılımı [14].

Çizelge 4.1: Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi BTEP, 1996-2006 [20].

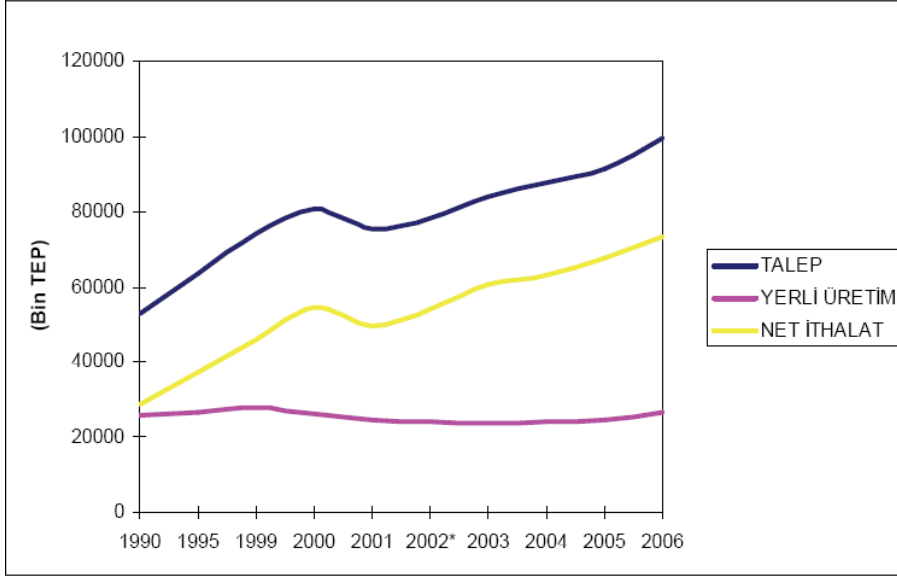
Kaynak	Jeotermal Isı	Taş Kömürü	Linyit	Asfaltit	Petrol	Doğalgaz	Rüzgâr	Güneş	Odun	Hayvan ve Bitki Art.	Biyoyakıt	Hidrolik + Jeotermal	Toplam BinTEP
Yıl													
1996	471	7401	11.187	15	30.939	7384	0	159	5512	1533	0	3553	68.154
1997	531	8452	12.317	13	30.515	9165	0	179	5512	1512	0	3496	71.692
1998	582	8921	12.631	10	30.349	9690	1	210	5512	1471	0	3705	73.082
1999	618	7708	12.314	12	30.138	11.741	2	236	5293	1422	0	3052	72.536
2000	648	9933	12.519	9	32.297	13.728	3	262	5081	1376	0	2721	78.577
2001	687	7011	11.429	13	30.936	14.868	5	287	4879	1332	0	2142	73.589
2002	730	8836	10.435	2	30.932	16.102	4	318	4684	1290	0	2987	76.320
2003	784	11.201	9471	144	31.806	19.450	5	350	4497	1251	0	3115	82.074
2004	811	12.326	9450	310	32.922	20.426	5	375	4318	1214	0	4043	86.200
2005	926	12.514	8326	317	32.192	24.726	5	385	4146	1179	0	3483	89.199
2006	1081	14.721	11.188	259	32.551	28.867	11	403	4023	1146	2	3886	98.138

2007 yılı Türkiye toplam birincil enerji kaynakları yerli üretimi 27.454 BTEP olmaktadır. Çizelge 4.2’de 2007 yılına ait Türkiye birincil enerji kaynakları üretim değerleri ve toplam yerli üretimdeki kaynak dağılımı verilmektedir. 2007 yılı verilerine göre kişi başına enerji tüketimi 1525 (TEP/kişi), kişi başına elektrik tüketimi net: 2168 (kwh/kişi), brüt:2692 (kwh/kişi) olarak belirlenmiştir [20].

Çizelge 4.2: Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Üretim Değerleri [20].

Kaynak	Yerli Üretim (BTEP)
Taş Kömürü	1089
Linyit	13.372
Asfaltit	336
Oğun	3880
Hayvan ve Bitki Artığı	1116
Petrol	2241
Doğalgaz	827
Hid+Jeo	3217
Rüzgâr	31
Biyoyakıt	11
Jeo ısı+Diğer ısı	914
Güneş	420
Toplam	27.454

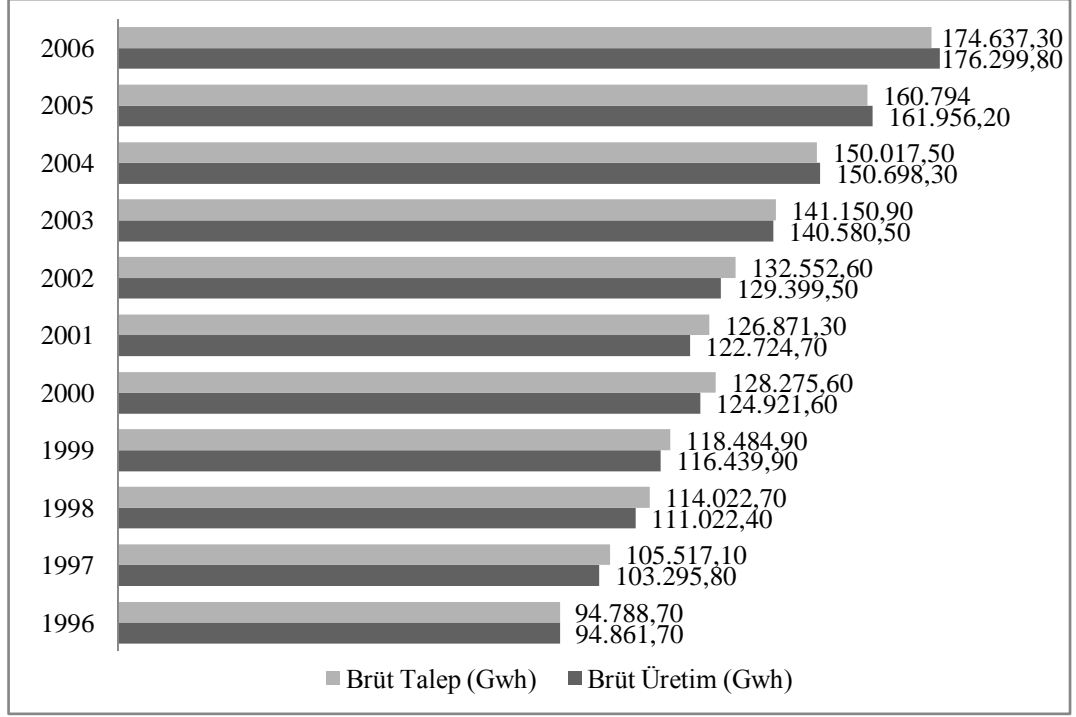
Türkiye’nin yükselen enerji talebi yerli kaynaklarla üretilen enerji miktarı ile karşılanamamaktadır. Bu nedenle, net enerji ithalatımız 1990’daki 28,5 MTEP değerinden 2006’da 73,4 MTEP değerine ulaşmıştır. İthal enerji kaynaklarına yalnızca 2006 yılında 29 milyar dolar ödenmiştir. 2006 yılında enerji talebimizin %73,3’ü ithalat ile karşılanırken, ancak %26,7’si yerli kaynaklar (üretim) ile sağlanabilmiştir. Şekil 4.2’de 1990-2006 yılları arasında Türkiye nihai enerji üretim-talep-ithalatı verilmektedir. Geçmiş yıllarda olduğu gibi, 2006 yılında da başta petrol olmak üzere doğal gaz, taş kömürü ve elektrik enerjisi ithalatı yapılmıştır. Kömür ithalatları toplam olarak 15,1 MTEP (%18,8), ham petrol ve petrol ürünleri ithalatı 37,4 MTEP (%46,5), doğalgaz ithalatı 30 MTEP (%37,3), elektrik enerjisi ithalatı ise 0,05 MTEP olmuştur [21].



Şekil 4.2: Türkiye Nihai Enerji İhtiyacının Karşılanması [21].

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi yıllık ortalama %8,6 oranında bir artışla 2006 yılı sonu itibariyle 174.637,3 GWh, brüt üretim ise yıllık ortalama %8,85 oranında bir artış ile 176.299,8 GWh'e ulaşmıştır. Şekil 4.3'de Türkiye brüt elektrik enerjisi üretim ve talebinin yıllar itibariyle gelişimi 1996-2006 yılları için, GWh olarak verilmiştir. [20].

Üretimin talep karşısında yetersiz olması ve elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımındaki kayıp ve kaçaklar nedeni ile enerji ithalatı gerçekleşmektedir. 2006 yılında elektrik şebekesinde; iletimde %2,4 ve dağıtımda %13 olmak üzere toplam %15,4 oranında kayıp-kaçak gerçekleştiği ifade edilmektedir [21].



Şekil 4.3: Türkiye Brüt Elektrik Enerjisi Üretim ve Talebinin Gelişimi, (1996-2006) [20].

Ülkemizde var olan biyokütle potansiyeline ilişkin ulaşılabilen istatistiksel verilerle Türkiye'nin yıllık biyokütle potansiyelinin yaklaşık 32 MTEP, toplam dönüştürülebilir biyoenerji potansiyelinin ise 16,92 MTEP olduğu söylenebilmektedir. Türkiye'nin yıllık biyokütle potansiyeli Çizelge 4.3'de daha ayrıntılı olarak verilmektedir [22].

Çizelge 4.3: Türkiye Yıllık Biyokütle Potansiyeli [22].

Biyokütle	Yıllık Potansiyel (Milyon ton)	Enerji Değeri (MTEP)
Yıllık Ekin	55	14,9
Çok Yıllık Ekin	16	4,1
Orman Artıkları	18	5,4
Tarım Endüstrisi Artıkları	10	3,0
Odun Endüstrisi Artıkları	6	1,8
Hayvansal Atıklar	7	1,5
Diğer	5	1,3
Toplam	117	32

Türkiye'de buğday sapı, tahıl tozu, fındıkkabuğu gibi çeşitli tarımsal artıklar biyokütle enerjisi kaynaklarıdır. Yaklaşık olarak yıllık $2,6 \times 10^7$ ton buğday sapı tarlalarda yakılmakta ya da tekrar toprağa geri dönmesi için sürülmektedir. Buğday sapının en yüksek ısıl değeri, yüksek değerli kömürün (yüksek ısıl değeri 28 MJ/kg)

yarısı kadardır. Bu durumda artık buğdayın ısı değeri $1,3 \times 10^7$ ton kömüre eş değeri olduğu söylenebilir. Yıllık tahmini $3,5 \times 10^5$ ton değeri ile fındikkabuğu Türkiye'nin önemli enerji kaynağı potansiyelleri arasındadır. Fındikkabuğunun en yüksek ısı değeri 19,2MJ/kg olup, ısı değeri ise yaklaşık olarak $1,9 \times 10^6$ kWh'dir. Türkiye'nin temel biyokütle üretimi ve enerji değerleri Çizelge 4.4'de verilmektedir [22].

Çizelge 4.4: Türkiye'nin Temel Biyokütle Üretimi [22].

Biyokütle	Yıllık Üretim (Milyon ton)	Enerji Değeri (Milyon kWh)
Buğday Sapı	26	117,9
Odun ve Odunsu Malzemeler	12	62,3
Kozalak Kabuğu	1	5,3
Fındikkabuğu	0,35	1,9
Toplam	39,35	187,4

Türkiye'deki orman arazisi, toplam kara parçasının %26'sını oluşturmaktadır. 1965-1995 yılları arasında odun hacmi %75'in üzerinde artmıştır. Türkiye'nin toplam orman potansiyeli yıllık 28 milyon m³ artış ile 935 milyon m³ civarındadır. Çizelge 4.5'de Türkiye'nin orman potansiyeli verilmektedir [22].

Türkiye'nin enerji ormancılığı amacıyla düzenlenebilecek 5 milyon hektar orman arazisi vardır. Bu miktarının 2,6 Mha'lık kısmı yakacak odun yapılan verimli ormanlardır. Kalan 2,4 Mha'lık kısmının ürünü ise düşük kalitelidir [22].

Çizelge 4.5: Türkiye'nin Orman Potansiyeli [22].

Orman Potansiyeli	Kaynak (Bin m ³)	Yıllık Büyüme (Bin m ³)
Yüksek verimli (Toplam)	847.032	25.605
Orman	88.300	4813
Ağaçlık Arazi	758.732	20.792
Düşük verimli (Toplam)	88.479	2459
Orman	34.129	1115
Ağaçlık Arazi	54.350	1344
Toplam	935.511	28.064

Türkiye, zengin tarımsal potansiyeli ile gelişen bir ülkedir. İşlenmiş toprağın %70'ini birinci olarak buğday, ikinci sırada arpa ve üçüncü olarak da mısır oluşturmaktadır. Pamuk, keten, susam tohumu ve haşhaş gibi endüstriyel ürünler uzun zamandır yetiştirilmektedir. Soya fasulyesi Anadolu'da yetişmektedir. Meyvenin çeşitli türleri

ülkenin hemen hemen her yerinde yetişmektedir. Yukarıdaki örneklerde de görüldüğü gibi Türkiye'nin biyokütle enerji kaynağı olarak çeşitli tarımsal artık olasılığı vardır [22].

Türkiye'de yıllık yaklaşık 26,4 milyon ton buğday sapı üretilmektedir ve bu değer yaklaşık olarak 16,4 MTEP'e eşittir [22]. Tarlalarda hazır bulunan buğday sapsarı ya yakılmakta ya da toprağa geri kazanılmak üzere çiftçilikte kullanılmaktadır.

2001 yılına ait Türkiye'nin tarımsal artık potansiyeli Çizelge 4.6'da verilmektedir. Tarımsal artıklardaki kuru kaynaklardan hesaplanmış toplam artık miktarı yaklaşık olarak 54,4 milyon tondur. Tarımsal artıkların yıllık enerji eşiği 15,5 MTEP olarak belirlenmektedir [22].

Çizelge 4.6: Türkiye'nin Tarımsal Artık Potansiyeli, 2001 [22].

Tarımsal Artık	Yıllık Üretim (Milyon Ton)	Enerji Potansiyeli (MTEP)
Buğday Sapı	26,4	7,2
Arpa Sapı	13,5	3,9
Mısır Koçanı	4,2	1,2
Pamuk Kozalağı Kabuğu	2,9	0,9
Ayçiçeği Kabuğu	2,7	0,8
Şeker Pancarı Atığı	2,3	0,7
Fındıkkabuğu	0,8	0,3
Yulaf Sapı	0,5	0,2
Çavdar Sapı	0,4	0,1
Pirinç Kabuğu	0,4	0,1
Meyve Kabuğu	0,3	0,1
Toplam	54,4	15,5

Hayvansal atıkların anaerobik fermentasyonu ürünü olan biyogaz, 1-2 milyon tonluk atığın hepsi biyogaz üretimi amaçlı kullanılabilirdiğinde yıllık 2,2 ve 3,9 milyar m³ potansiyele sahiptir. Biyogaz potansiyelinin %85'i hayvansal atıklarından, geri kalanı ise çöp gazından gelmektedir. Hayvansal atık gazı potansiyelinin %50'si koyunlardan, %43'ü büyükbaş hayvanlardan, %7'si kümes hayvanlarından oluşmaktadır. Hesaplamalara göre ortalama hektar başına 80-100 ton ıslak biyokütle (25-30 ton kullanılabilir kuru biyokütle malzemesi) Orta Anadolu Bölgesi'nden elde edilebilir. Genellikle tarımda suni gübre olarak kullanıldıkları için, hayvansal atıkların biyoyakıt olarak kullanılmaları kısıtlıdır [22]. Türkiye'de hayvan çiftçiliğinin oldukça gelişmesinden sonra, önemli miktarlarda yıllık hayvansal atıklar

oluşmaktadır. Türkiye’de 1960’lardan sonra biyogaz araştırma ve geliştirme projelerine emek verilmiştir. Biyogaz kullanımındaki çalışmaların uygulanabilirliğine ek olarak, çok sayıda özümleme tankı çeşitli yerlere kurulmuştur. Çizelge 4.7’de Türkiye’nin hayvansal atık potansiyeline karşılık gelen üretilebilecek biyogaz miktarları verilmektedir. Mevcut biyogaz potansiyelinin değerlendirildiği takdirde yaklaşık 3 milyon ton/yıl taşkömürü eşdeğerine karşılık geleceği görülmektedir [8].

Çizelge 4.7: Türkiye'nin Hayvansal Atık Potansiyeline Karşılık Gelen Üretilebilecek Biyogaz Miktarı ve Taşkömürü Eşdeğeri [8].

Hayvan Cinsi	Hayvan Sayısı (Adet)	Yaş Gübre Miktarı (ton/yıl)	Biyogaz Miktarı (m ³ /yıl)	Taşkömürü Eşdeğeri (ton/yıl)
Sığır	11.054.000	39.794.400	1.313.215.200	1.181.894
Koyun-Keçi	38.030.000	26.621.000	1.544.018.000	1.389.616
Tavuk-Hindi	243.510.453	5.357.230	417.863.937	376.078
Toplam	292.594.453	71.772.630	3.275.097.137	2.947.587

Yukarıda potansiyelleri belirtilen atıklara ek olarak üretici endüstrinin çeşitli üretim prosesleri sonucundaki atık su arıtma tesisleri ile elde ettikleri metan gazı (CH₄), evsel katı atıklar, bahçe atıkları, deri ve tekstil endüstrisi atıkları, kâğıt endüstrisi atıkları, gıda endüstrisi atıkları gibi atıklar da biyokütle enerji potansiyelleri içerisinde yer almaktadır.

Tüm bu potansiyel verilerine ve biyokütle kaynağının yerinde değerlendirildiğinde kayıp oranlarının sadece sistem veriminden olacağı da göz önüne alınarak, biyokütle enerji kaynaklarının önümüzdeki dönemde dünyanın ve ülkemizin en önemli ve sürdürülebilir enerji kaynağı olmaya aday olduğu söylenebilir.

5. Türkiye'deki Mevcut Yasal Yapı ve Biyokütle Enerjisi

Bu bölümde Enerji verimliliği Kanunu, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında biyokütle enerjisi ve biyokütleden elektrik enerjisi üretimi amaçlı lisans faaliyetleri incelenmiştir.

5.1. Enerji Verimliliği Kanunu Kapsamında Biyokütle Enerjisi

Enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasını amaçlayan 5627 sayılı enerji verimliliği kanunu kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esaslar da mevcuttur.

Enerji yoğunluğunun azaltılmasına yönelik uygulamalarda gönüllü anlaşma yapan gerçek veya tüzel kişilerin endüstriyel işletme içinde tükettikleri enerji miktarlarından; atıkları modern yakma teknikleri ile ısı ve elektrik enerjisine dönüştüren tesislerinde, yurt içinde imal edilen kojenerasyon tesislerinde veya hidrolik, rüzgar, jeotermal, güneş ve biyokütle kaynaklarını kullanarak ürettikleri enerji miktarı, enerji yoğunluğu hesabına dâhil edilmez (madde 8, 1. fıkra b bendi).

Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik araştırma ve geliştirme projelerini Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu desteklemekte, yönlendirilmesi ve değerlendirilmesinde Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nün görüşünü almaktadır (madde 8, 1. fıkra ç bendi).

Endüstriyel işletmelerin, mevcut sistemlerinde enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik olarak hazırlanan projeleri ve yönetmelikte tanımlanan yıllık ortalama verimi sağlayan kojenerasyon yatırımları Hazine Müsteşarlığı'nın yatırım teşviklerinden yararlanabilmektedir (madde 9).

5627 sayılı Enerji verimliliği Kanunu çerçevesinde, 2819 sayılı Elektrik İşleri Etüt İdaresi Teşkiline Dair Kanununun 2nci maddesi (E.İ.E. İdaresinin görevleri) arasına;

- “Ülkenin hidrolik, rüzgâr, jeotermal, güneş, biyokütle ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları öncelikli olmak üzere tüm enerji kaynaklarının değerlendirilmesine yönelik ölçümler yapmak, fizibilite ve örnek uygulama projeleri hazırlamak; araştırma kurumları, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşları ile işbirliği yaparak pilot sistemler geliştirmek, tanıtım ve danışmanlık faaliyetleri yürütmek,
- Yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesine ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik projeksiyonlar ve öneriler geliştirmek” fıkraları eklenmiştir (madde 13).

Kanun çerçevesinde, 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanununun 3. maddesine (lisans genel esasları ve lisans türleri) aşağıdaki maddeler eklenmiştir.

- Yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yürürlüğe konulacak yönetmelikte tanımlanan değer üzerinde verimi olan kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaf tutulacaklar, ilgili yönetmelikle düzenlenir.
- Yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla; yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı, kurulu gücü azami 200 kilovatlık üretim tesisi ile mikro kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişiler, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaftır. Ancak bu kişiler aldıkları elektrik enerjisinden mahsup edilmek kaydıyla, ürettikleri ihtiyaç fazlası elektrik enerjisini dağıtım şebekesine verebilirler.
- Kurum, mevcut üretim lisanslarında ve lisans başvurularında teminat ister. Teminat alınması ve irat kaydedilmesine ilişkin hususlar yönetmelikle düzenlenir (madde 15).

Kanun çerçevesinde, 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun 6. maddesine (uygulama esasları) göre yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretim ve ticaretinde, lisans sahibi tüzel kişilerin tabi olduğu esaslar:

- Perakende satış lisansı sahibi tüzel kişiler, bu kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten YEK (Yenilenebilir Enerji Kaynağı) Belgeli tesislerin işletmede on yılını

tamamlamamış olanlarından, bu maddede belirlenen esaslara göre elektrik enerjisi satın alırlar.

- Bu kanun kapsamındaki uygulamalardan yararlanabilecek YEK Belgeli elektrik enerjisi üretim miktarına ilişkin bilgiler her yıl EPDK tarafından yayımlanır. Perakende satış lisansı sahibi tüzel kişilerin her biri, bir önceki takvim yılında sattıkları elektrik enerjisi miktarının ülkede satılan toplam elektrik enerjisi miktarına oranı kadar miktarı, YEK Belgeli elektrik enerjisi üreticilerinden satın alırlar.
- Bu kanun kapsamında satın alınacak elektrik enerjisi için uygulanacak fiyat; her yıl için, EPDK'nın belirlediği bir önceki yıla ait Türkiye ortalama elektrik toptan satış fiyatıdır. Ancak uygulanacak bu fiyat 5 Euro-Cent/ kWh karşılığı Türk Lirasından az, 5,5 Euro-Cent/ kWh karşılığı Türk Lirasından fazla olamaz. Ancak, 5,5 Euro-Cent/kWh sınırının üzerinde serbest piyasada satış olanağı bulan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisans sahibi tüzel kişiler bu imkândan da yararlanırlar.
- Bu madde kapsamındaki uygulamalar 31.12.2011 tarihinden önce işletmeye giren tesisleri kapsar. Ancak Bakanlar Kurulu uygulamanın sona ereceği tarihi, 31.12.2009 tarihine kadar Resmî Gazete’de yayınlanmak şartıyla, en fazla 2 yıl süreyle uzatabilir.” şeklinde değiştirilmiştir (madde 17).

Kanun çerçevesinde, 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanununun 8. maddesi (arazi ihtiyacına ilişkin uygulamalar) şu şekilde değiştirilmiştir:

“MADDE 8- Orman veya Hazinesinin özel mülkiyetinde ya da Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan her türlü taşınmazın bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi yapmak amacıyla kullanılması halinde, tesis, ulaşım yolları ve şebekeye bağlantı noktasına kadarki enerji nakil hattı için kullanılacak arazilere ilişkin olarak Çevre ve Orman Bakanlığı veya Maliye Bakanlığı tarafından bedeli karşılığında izin verilir, kiralama yapılır, irtifak hakkı tesis edilir veya kullanma izni verilir. 2011 yılı sonuna kadar devreye alınacak bu tesislerden ulaşım yollarından ve şebekeye bağlantı noktasına kadarki enerji nakil hatlarından yatırım ve işletme dönemlerinin ilk on yılında izin, kira, irtifak hakkı ve kullanma izni bedellerine yüzde seksen beş indirim uygulanır. Orman

arazilerinde ORKÖY ve Ağaçlandırma zel denek Gelirleri alınmaz.” (madde 18) [23].

5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi retimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun Kapsamında Biyokütle Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değ erlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesini amaçlayan kanunun kapsamı; yenilenebilir enerji kaynak alanlarının korunması, bu kaynaklardan elde edilen elektrik enerjisinin belgelendirilmesi ve bu kaynakların kullanımına ilişkin usul ve esaslardır.

Yenilenebilir enerji kaynakları: Hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarını ifade etmektedir. Biyokütle: Organik atıkların yanı sıra bitkisel yağ atıkları, tarımsal hasat artıkları dâhil olmak üzere, tarım ve orman ürünlerinden ve bu ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen katı, sıvı ve gaz halindeki yakıtları ifade etmektedir. Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı on beş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynaklarını ifade etmektedir (madde 3).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik enerjisinin iç piyasada ve uluslararası piyasalarda alım satımında kaynak türünün belirlenmesi ve takibi için üretim lisansı sahibi tüzel kişiye EPDK tarafından "Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi" (YEK Belgesi) verilir (madde 5).

Madde 7'ye göre:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak sadece kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla azami 1000 kW'lık kurulu güce sahip izole elektrik üretim tesisi ve şebeke destekli elektrik üretim tesisi kuran gerçek ve tüzel kişilerden kesin projesi, planlaması, master planı, n incelemesi veya ilk

etüdü DSİ veya EİE tarafından hazırlanan projeler için hizmet bedelleri alınmaz.

- Biyokütle kaynaklarını kullanarak elektrik enerjisi veya yakıt üretimine yönelik AR-GE tesis yatırımları, bakanlar kurulu kararı ile teşviklerden yararlandırılabilir [24].

Türkiye Büyük Millet Meclisi Başkanlığına sunulan 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” kanunda değişiklik yapılmasına dair kanun teklifinde, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretim ve ticaretinde, lisans sahibi tüzel kişilerin tabi oldukları uygulama esaslarının (madde 6);“satın alınacak elektrik enerjisi için uygulanacak fiyatın biyokütle enerjisine dayalı üretim tesislerinden elde edilen elektrik için ilk beş yıl 14 Euro Cent / kWh, ikinci beş yıl 10 Euro Cent/ kWh karşılığı Türk Lirası olarak uygulanır” şeklinde değiştirilmesi sunulmuştur [25].

5.3. Elektrik Piyasasında Lisans Faaliyetleri

Elektrik piyasasında tüm piyasa lisans faaliyetleri, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu’ndan alınacak lisanslar kapsamında yürütülmektedir. Piyasada faaliyet göstermek üzere lisans başvurusunda bulunacak özel hukuk hükümlerine tabi tüzel kişilerin, 6762 sayılı Türk Ticaret Kanunu hükümleri doğrultusunda anonim şirket ya da limitet şirket olarak kurulmuş olmaları zorunludur. Elektrik piyasasında faaliyette bulunmak üzere ilgili lisansların verilebilmesi için; tüzel kişilerin, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu kararıyla belirlenen bilgi ve belgeleri eksiksiz olarak Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’na sunmaları gerekmektedir. Başvuru sırasında tüzel kişilerden istenen belgelerin gereğine uygun olarak teslim edilip edilmediği hakkındaki değerlendirme; sunulan belgelerin kurum merkez evrakına giriş tarihini izleyen on iş günü içerisinde tamamlanır. Eksiksiz ve tam olarak yapılan başvurular, inceleme ve değerlendirme sürecine alınmaktadır. İnceleme ve değerlendirmeye alınan lisans başvuruları, ilgili mevzuat uyarınca diğer kurum ve/veya kuruluşlardan alınması gereken uygun bulma kararına esas teşkil edecek nihai görüşün, kuruma geliş tarihinden itibaren kırk beş gün içerisinde sonuçlandırılır. Gerektiğinde bu süre kurul kararıyla uzatılabilir ve süre uzatımı başvuru sahibi tüzel kişiye yazılı olarak bildirilir. EPDK tarafından yapılan inceleme ve değerlendirme kurula sunulur ve lisans başvurusu kurul kararıyla sonuçlandırılır. Lisans başvurusunun Enerji Piyasası

Düzenleme Kurulu kararıyla reddedilmesi durumunda, ret gerekçeleri başvuru sahibi tüzel kişiye kurul kararını izleyen beş iş günü içerisinde yazılı olarak bildirilir. İnceleme ve değerlendirme sonucu lisans alması kurul kararıyla uygun bulunan başvuru sahibi tüzel kişiye;

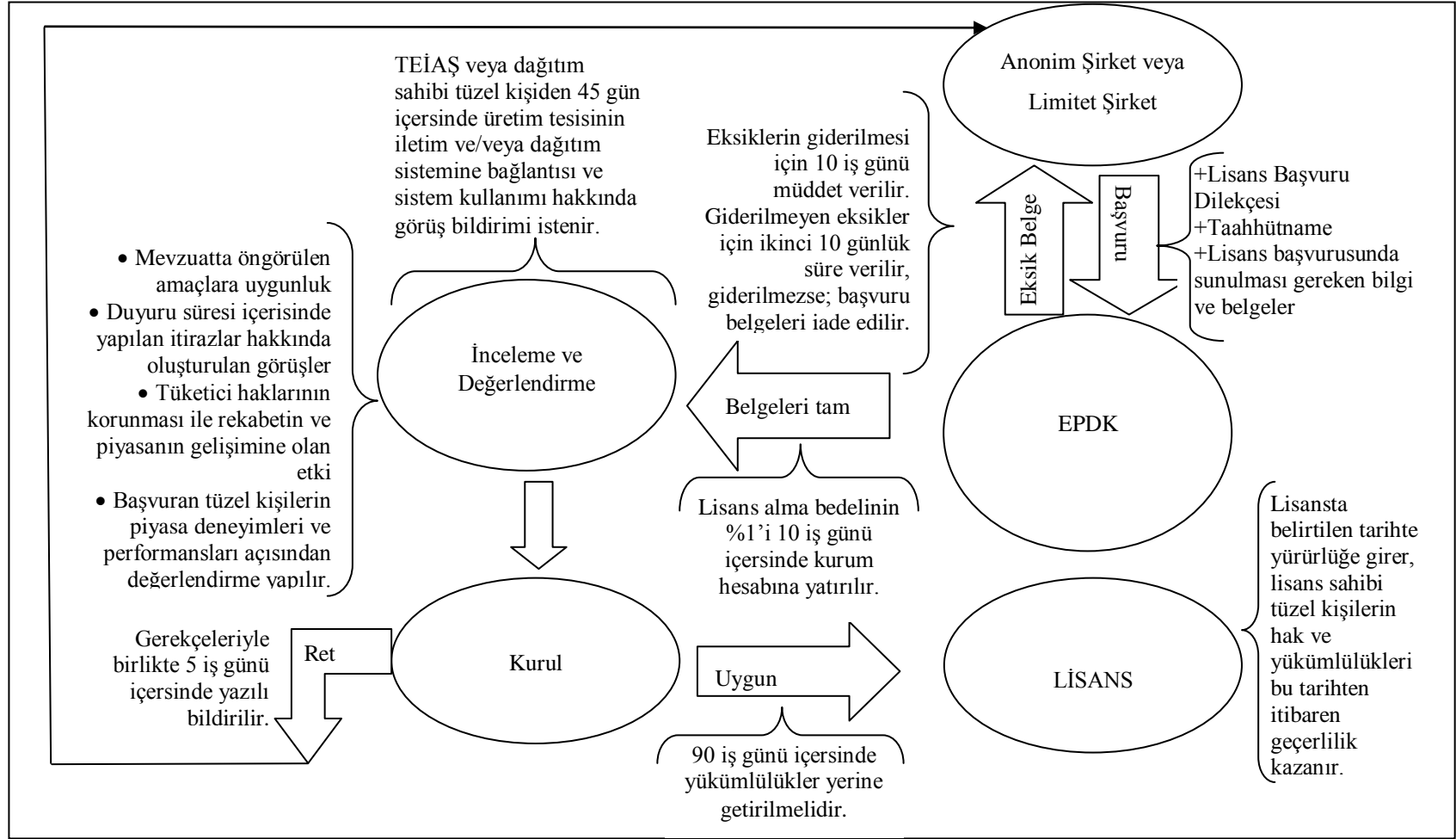
a) Şirket ana sözleşmesinde gerekli değişiklikleri yapması,

b) Yapılması öngörülen ithalat ve/veya ihracat faaliyetine ilişkin olarak, başvuru sırasında ithalat ve ihracat yönetmeliği çerçevesinde sunulan belgelere uygun anlaşmaları EPDK'ya ibraz etmesi,

c) Lisans alma bedelinin kalan tutarının Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun hesabına yatırıldığına ilişkin belgeyi ibraz etmesi, durumunda lisans alabileceği ve bu yükümlülüklerin doksan gün içerisinde yerine getirilmesi halinde lisansının verileceği yazılı olarak bildirilir [26].

Yükümlülükleri yerine getiren tüzel kişiye kurul kararı ile lisans verilir, lisans sahibi tüzel kişinin ticaret unvanı ile aldığı lisans türü ve süresi Resmi Gazetede yayımlanır ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun internet sayfasında duyurulur. Zorlayıcı (mücbir) sebepler dışında, öngörülen süre içerisinde bu yükümlülüklerin yerine getirilmemesi halinde lisans başvurusu Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu kararıyla reddedilir. Biyokütleden kendi ihtiyacını karşılamak ve/veya ihtiyacının fazlasını satmak üzere elektrik enerjisi üretimi için; üretim lisansı veya otoprodüktör lisansı ve/veya otoprodüktör grubu lisansı gerekmektedir. Üretim lisansı sahibi tüzel kişiler; üretim tesisi kurulması, işletmeye alınması, elektrik enerjisi üretimi, ürettikleri elektrik enerjisinin ve/veya kapasitenin müşterilere satışını yapabilirler. Otoprodüktör lisansı sahibi tüzel kişiler kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere üretim tesisi kurulması ve üretim fazlası olması durumunda üretilen elektrik enerjisi ve/veya kapasitenin müşterilere satışı faaliyetlerini gerçekleştirebilirler. Otoprodüktör grubu lisansı sahibi tüzel kişiler, esas olarak ortaklarının elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılamak üzere üretim tesisi kurulması, üretilen elektrik enerjisi ve/veya kapasitenin grup ortaklarına satılması, üretim fazlası olması durumunda üretim fazlasının müşterilere satışı faaliyetlerini yürütebilirler [26].

Elektrik piyasası lisans yönetmeliğinde yer alan lisans alma işlemleri şematik olarak Şekil 5.1'de gösterilmektedir [27].



Şekil 5.1: Lisans Akış Şeması

Nisan 2009 tarihi itibariyle, 5346 sayılı yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun ve 5627 sayılı enerji verimliliği kanunu kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına hususunda biyokütleden enerji elde etmek üzere Enerji Piyasası Düzenleme Kurumuna başvurarak üretim, otoprodüktör, otoprodüktör grubu lisansına sahip tüzel kişiler Çizelge 5.1’de verilmektedir [28].

Çizelge 5.1: Yürürlükte Olan Lisanslar (Nisan 2009 itibariyle) [28].

Şirket Adı	Lisans Türü	Tesis Türü	Kurulu Güç (MWe)
Bel-Ka Ankara Katı Atıkları Ayıklama Değerlendirme, Bilgisayar, İnşaat San. ve Tic. A.Ş.	Otoprodüktör Lisansı	Biyogaz	3,2
Cargill Tarım ve Gıda Sanayi Ticaret A.Ş.	Otoprodüktör Lisansı	Biyogaz	0,14
Ekolojik Enerji Ltd. Şti.	Üretim Lisansı	Biyogaz	0,8
Enertek Enerji Üretim A.Ş.	Üretim Lisansı	Biyogaz	4,25
Enertek Enerji Üretim A.Ş.	Üretim Lisansı	Biyogaz	3,882
GASKİ Enerji Yatırım Hizmetleri İnşaat San. ve Tic. A.Ş.	Üretim Lisansı	Biyogaz	1,85
Mauri Maya Sanayi A.Ş.	Otoprodüktör Lisansı	Biyogaz	2,41
Yeni Adana İmar İnşaat Tic. A.Ş.	Otoprodüktör Lisansı	Biyogaz	0,92
Yeni Adana İmar İnşaat Tic. A.Ş.	Otoprodüktör Lisansı	Biyogaz	0,92
ITC-KA Enerji Üretim San. ve Tic. A.Ş.	Üretim Lisansı	Biyokütle	5,8
Aksa Enerji Üretim A.Ş.	Üretim Lisansı	Çöp Gazı (LFG)	1,39
Ekolojik Enerji Ltd. Şti.	Üretim Lisansı	Çöp Gazı (LFG)	1
ITC-KA Enerji Üretim San. ve Tic. A.Ş.	Üretim Lisansı	Çöp Gazı (LFG)	11,61
İstanbul Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme San. ve Tic. A.Ş.	Otoprodüktör Grubu Lisansı	Çöp Gazı (LFG)	4,02
Ortadoğu Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Üretim Lisansı	Çöp Gazı (LFG)	7,8
Ortadoğu Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Üretim Lisansı	Çöp Gazı (LFG)	14,3

6. Örnek Bir Tesis İncelemesi

Bu bölümde Marmara Bölgesinde bulunan bir biyorafineri tesisinin biyogaz kullanarak elektrik ve ısı enerjisi üretimi incelenmiştir. Bu tesiste biyorafineri işlemi sonucunda oluşan atık su arıtılmaktadır. Anaerobik arıtma sonucunda ortaya çıkan metan ve diğer gaz emisyonlarından oluşan biyogaz bir Ar-Ge projesi olarak ele alınıp, katma değer yaratacak şekilde kullanılmıştır. Şekil 6.1'de tesis içerisinde biyogazdan elektrik ve ısı enerjisi üretimi prosesi akış şeması basitleştirilmiş olarak verilmektedir.

Projenin başlangıcından biyogazın kullanımına ekonomik bir çözüm bulmak amacıyla biyogazdan elektrik enerjisi üretme teknolojileri ve tesisin mevcut biyogaz kullanım olanakları dikkatle incelenmiştir. Biyogazın, mevcut doğalgaz kazanlarında doğalgaz ile karıştırılarak yakılması, gaz türbini kullanılarak elektrik üretilmesi, mikrotürbinlerden elektrik üretilmesi olasılıkları arasından, üretilecek gazın sürekliliğine ve bileşimine en uygun çözümün “biyogazdan mikrotürbinlerden yararlanılarak elektrik üretilmesi” olduğuna karar verilmiştir.

Biyogazın işletme karakteristiği özellikleri % 68 metan (CH₄), %21 karbondioksit (CO₂), % 1,4 hidrojen sülfür (H₂S), % 8,56 nem ve diğer gazlardan oluşmaktadır. Yaz ve kış aylarında değişim göstermesine rağmen, günde yaklaşık 1600-1700 m³ biyogaz üretilmektedir. Tesisin biyogaz üretim miktarı değişikliklerinden etkilenmemesi için depolama sisteminin kurulması düşünülmüştür. Tesiste 400 m³ kapasitesi olan balon tip depolama sistemi bulunmaktadır. Balon üç cidarlı olup, en dıştaki ve ikinci cidarı arasına basınçlı hava verilerek depolanan biyogaz basınçlandırılabilir. Balon üç cidarlı olup, en dıştaki ve ikinci cidarı arasına basınçlı hava verilerek depolanan biyogaz basınçlandırılabilir.

Basınçlandırılmış biyogaz, yaklaşık 600 metre ileride bulunan mikrotürbin sahasına paslanmaz çelik bir boru hattı ile ulaştırılmaktadır. Biyogazın gaz türbinine nakli esnasında oldukça büyük miktarda kondens oluşmaktadır. Bu kondensin tahliyesi amacı ile sistemde muhtelif su tutucu cihazlar ve depolama çıkışında da bir mekanik su tutucu yer almaktadır. Depolama çıkışından hemen sonra soğutucu sistemle çalışan bir gaz kurutucusu bulunmaktadır. Bu kurutucu biyogaz sıcaklığını düşürerek

kondensin yoğuşmasını sağlamaktadır. Bu soğutma tipli kurutucu ile biyogaz sıcaklığı 10°C'nin altına indirilebilmektedir. Düşük sıcaklıkta biyogazın nem tutabilme kapasitesi çok azaldığı için, sıvı fazına dönüşen nem bir kondenstop vasıtası ile tahliye edilebilmektedir. Soğutma tipli kurutucu cihazın kendine ait ayrı bir otomasyon sistemi bulunmakta, soğutucu akışkan sıcaklığına bağlı olarak otomatik olarak gerektiğinde devreye girip çıkmaktadır.

Bu kurutucudan sonra biyogazda asılı durumda olabilecek su da, su tutucu filtreden geçirilmektedir. Bu işlemlerden sonra, küçük bir seviyede de olsa kalma ihtimali olan pisliğe karşı pislik tutucu bir filtre ile biyogaz yeniden filtrelenmektedir. Yapılan filtrasyon işleminden sonra mikrotürbinlerde kullanılacak olan biyogazın basıncının 650 kPa'a çıkarılması gerekmektedir. Minimum sürtünmeli kompresör, biyogazı basınçlandırmaktadır. Kompresörün kendi iç emniyet tertibatı (mekanik basınç tahliye vanası, elektrikli basınç şalteri, vakum şalteri gibi) da bulunmaktadır. Kompresör motorundaki elektrik devresi sadece basınç belli bir seviyeye gerilediği zaman devreye girmektedir. Yüksek basınca ulaştığında sıcaklığı da artmış olan biyogazın sıcaklığı, fan yardımı ile düşürülmektedir.

Mikrotürbinlerin bulunduğu noktada önce bir su tutucu yer almaktadır. Bu su tutucu uzun bir hattan bu noktaya ulaşan biyogazın içinde olabilecek suyu tahliye etmektedir. Bundan sonra ise, ıslak termometre sıcaklığını 10°C düşürebilen özellikte bir kurutucu daha yer almaktadır. Bu şekilde hattın aşağısında olabilecek yoğuşma olasılığı tamamen ortadan kaldırılmaktadır. Bu kurutucu çıkışında bir pislik tutucu daha yerleştirilmiştir. Bu noktadan sonra biyogaz dört hatta ayrılarak mikrotürbinlere ulaşmaktadır. Her mikrotürbin girişinde yeniden koruma amacıyla bir su tutucu, bir pislik filtresi ve bir de basınç regülâtörü bulunmaktadır. Basınç regülâtörü biyogazın kalorifik değerine göre basınç ayarlaması yapmak için kullanılmaktadır.

Sahada her biri 30 kW kurulu güce sahip 4 adet mikro gaz türbini bulunmaktadır. Tesis, hem elektrik hem de ısı formlarında enerji üretiminin yapıldığı kojenerasyon özelliğine sahiptir. Bu birliktelik, iki enerji formunun tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik olmaktadır. Basit çevrimde çalışan, yani sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da motoru kullandığında enerjinin %30-40 kadarı elektrik enerjisine çevrilebilmektedir. Sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması halinde, sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin büyük bir

bölümü de kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek toplam enerji girişinin % 70-90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilir. Bu tekniğe "birleşik ısı-güç sistemleri" ya da kısaca "kojenerasyon" denilmektedir [29].

Elde edilen elektrik enerjisi sayaç ile ölçülmekte ve üretim sahasına yönlendirilmektedir. Isı enerjisi ise kazan blöf suyunun ısıtılmasında kullanılan ekonomizere gönderilmektedir.

Biyogazdan elektrik enerjisi elde edilen bu işlem sonucunda oluşan tasarruf miktarları da aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir:

- Tasarruf edilen elektrik enerjisi miktarı: 1.051.200 kWh/yıl
- Isıl kazanç: 1.438.000 kJ/h
- Toplam tasarruf miktarı (enerji): 90,4 TEP/yıl
- Toplam tasarruf miktarının parasal eşdeğeri: 116.089 TL/yıl
- Tasarruf oranı: % 4
- Toplam yatırım miktarı: 587.263 MTL
- Projenin geri ödeme süresi: 5,21 yıl

Elde edilen enerji tasarruf miktarı, tesisin toplam enerji tüketimi içinde küçük bir paya sahip olmasına rağmen, bu tesisin atık suyun değerlendirilmesi, enerji üretimi için hammadde maliyetinin azaltılması, atık bertarafı probleminin ortadan kaldırılması ve enerji çeşitliliği sağlanması gibi üstünlükleri düşünüldüğünde uygulanabilir bir proje olduğu ortaya çıkmaktadır.

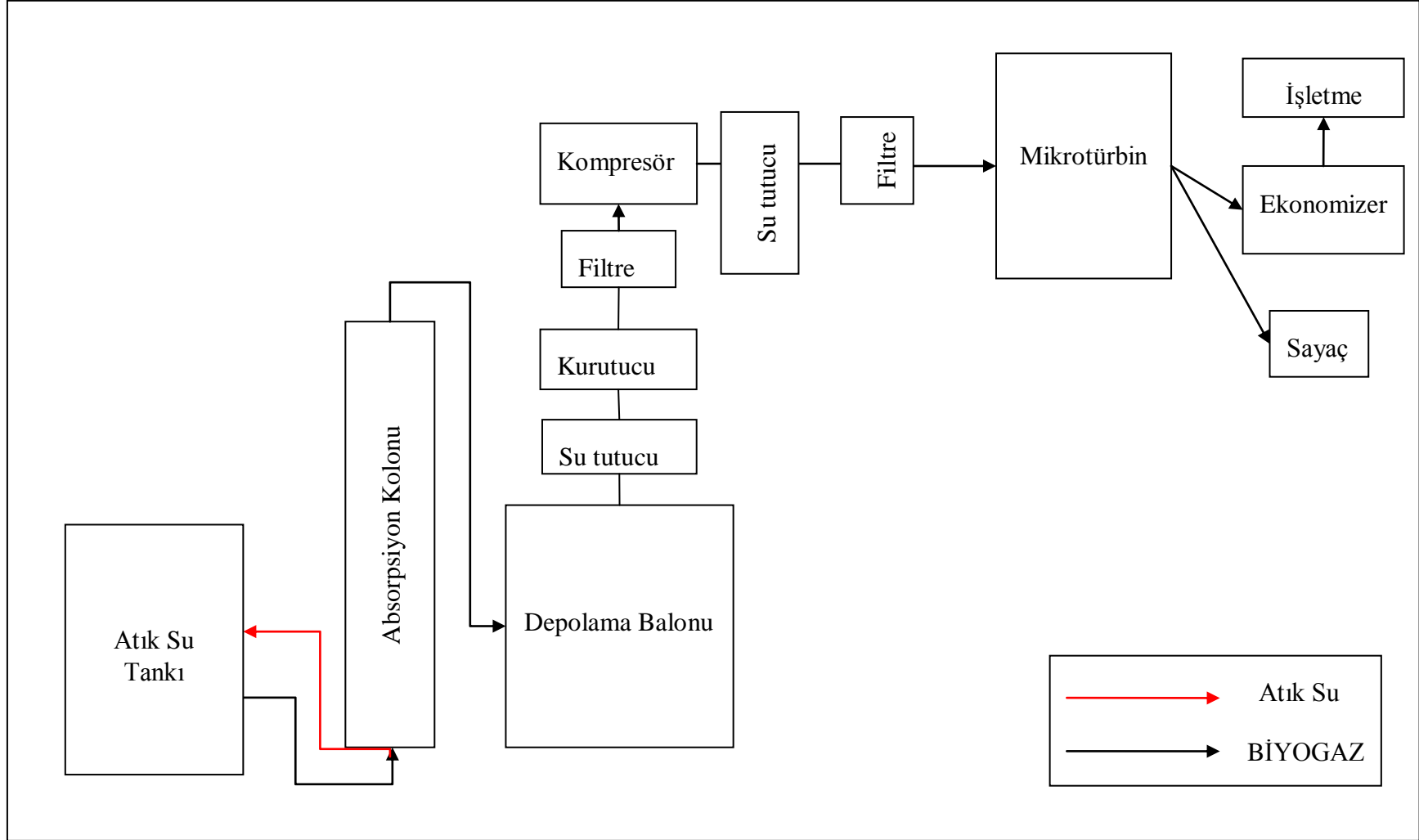
Enerji tasarrufu dışında projenin uygulanmasıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyogazın kullanımı ile fosil yakıtların tüketilmesinden kaynaklanan küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olan karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağlanmaktadır.

Bu prosesi geliştirmek veya alternatif biyokütle prosesleri için Marmara bölgesi, Bursa ili Orhangazi ilçesinde yer alan tesisin çevresinde bulunan biyokütle kaynakları potansiyeli de değerlendirilmelidir. Bu kaynakların başında bölgesel orman potansiyeline ilişkin meşe, karaçam, kayın, kızılçam, göknar, fıstıkçamı ve sahilçamı gibi ağaçlar söz konusudur. Bu ağaçların ve odun dışı orman ürünlerinin bölgesel orman varlığı kapsamında enerji üretimi amacıyla kullanımı olasıdır.

Orman potansiyelinin yanı sıra bölgedeki orman ürünleri imalat fabrikalarının artıkları taşıma masrafları açısından en uygun kaynaklar arasında yer almaktadır. Ayrıca Türkiye zeytin ve zeytinyağı üretiminde üretim miktarının büyüklüğü açısından ilk sıralarda yer alan bölge için zeytinyağı üretimi sonucunda açığa çıkan zeytin küspesi, zeytin ağaçlarının zeytin dışı dal ve yaprak gibi artıkları da biyokütle potansiyeli oluşturmaktadır. Tesisin bulunduğu bölgenin tarım ürünlerine bakıldığında buğday, şeker pancarı, arpa, ayçiçeği gibi tarımsal ürünler üretim miktarları açısından ilk sıralarda yer almaktadır.

Temel biyokütle ürünlerinin yanı sıra tesiste hali hazırda üretimi süren biyogazdan elektrik ve ısı eldesinde kullanılmak üzere çevredeki hayvancılık atıkları da değerlendirilebilir. Biyogaz üretimi açısından ısıl değerleri ile önemli olan koyun, keçi, sığır, hindi, tavuk gibi hayvanlardan bölge için kümes hayvanı, koyun ve keçi önem arz etmektedir. Hayvancılık sonrası oluşan yaş gübre ile biyogaz üretimi yapılabilir ve mevcut prosesin kapasitesi artırılarak elde edilen elektrik ve ısı miktarı da artırılabilir.

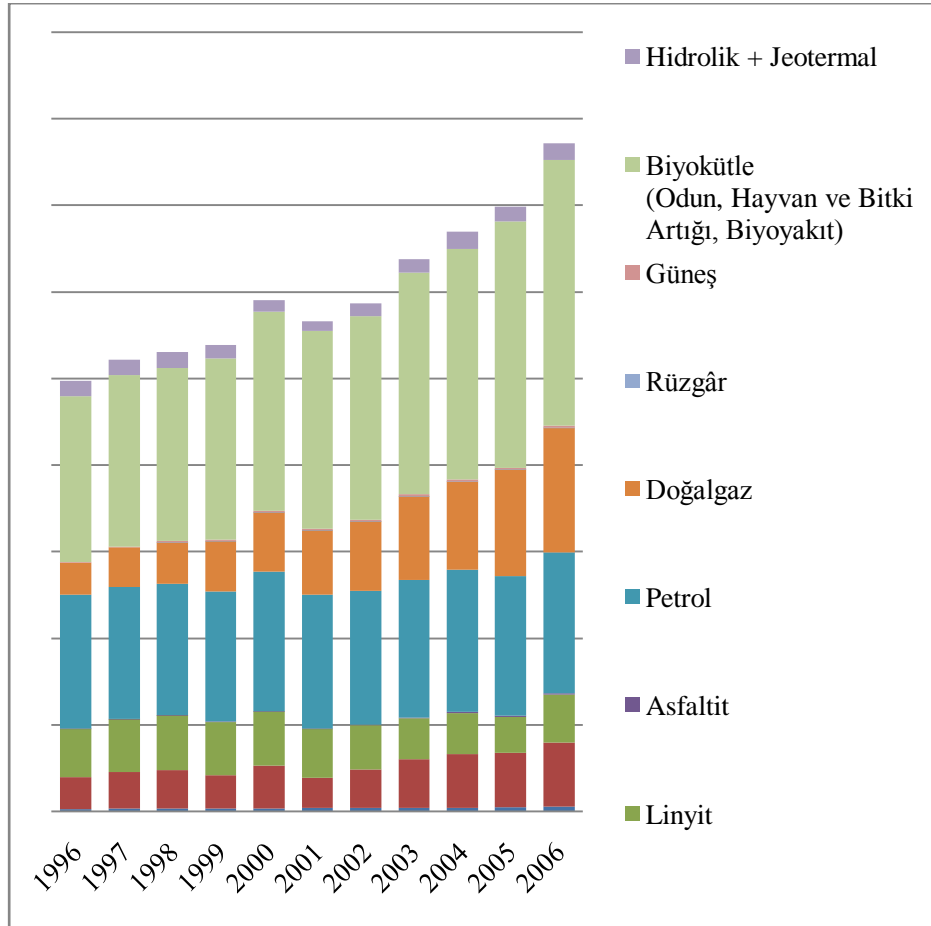
Bölgesel biyokütle potansiyelleri, gıda ve yem sanayine zarar vermeyecek politikalar eşliğinde tesiste kullanılmakta olan biyokütleden elektrik ve ısı üretim prosesine önemli ölçüde katkı sağlayabileceği gibi tesisin ihtiyaçları doğrultusunda oluşturulacak ek üretim prosesleriyle biyokütleden mevcut yakıtlara eş değer alternatif katı, sıvı ve gaz yakıt üretimi amacıyla da kullanılabilir.



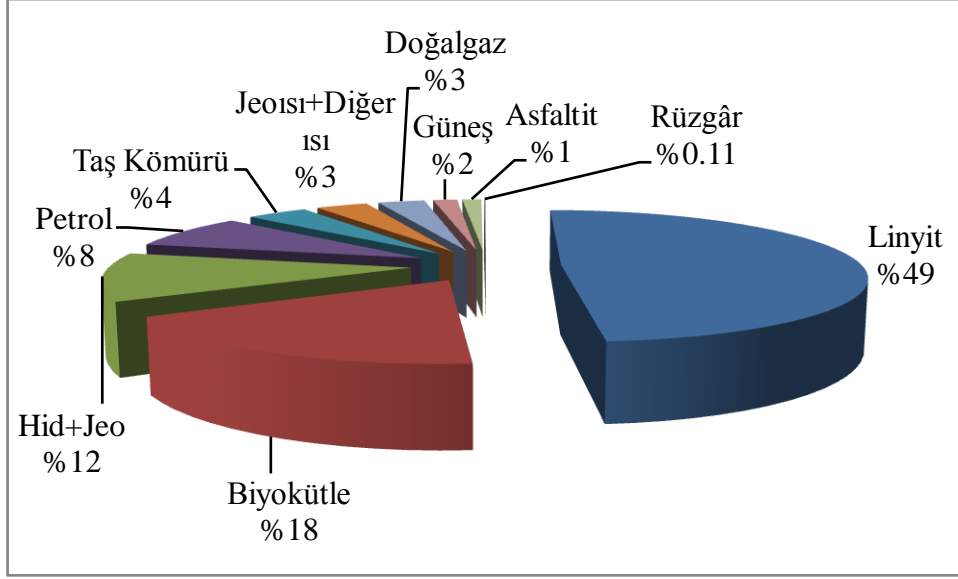
Şekil 6.1: Biyogazdan ısı ve elektrik üretim şeması

7. “Biyokütle Enerjisi”nin Türkiye Açısından Değerlendirilmesi ve Öneriler

Türkiye'nin bulunduğu coğrafyada sahip olduğu fosil kaynaklar ile enerji ihtiyacının karşılanması konusunda yetersiz kaldığı ve büyük ölçüde dışa bağı olduğu görülmektedir. Önümüzdeki yıllar içinde fosil yakıtların birincil enerji tüketiminde yine en yüksek paylara sahip olacağı bilinmesine rağmen, Türkiye'nin birincil enerji kaynakları tüketimini (Şekil 7.1) karşılamakta yetersiz olacak yerli üretim (Şekil 7.2) kapasitesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı, ülkenin coğrafi konumunun verdiği üstünlükler ve sahip olunan teknik potansiyel kapsamında değerlendirilip, üretim çeşitliliğinin artırılması gerekmektedir.



Şekil 7.1: Birincil Enerji Kaynakları Tüketim Dağılımı [20].

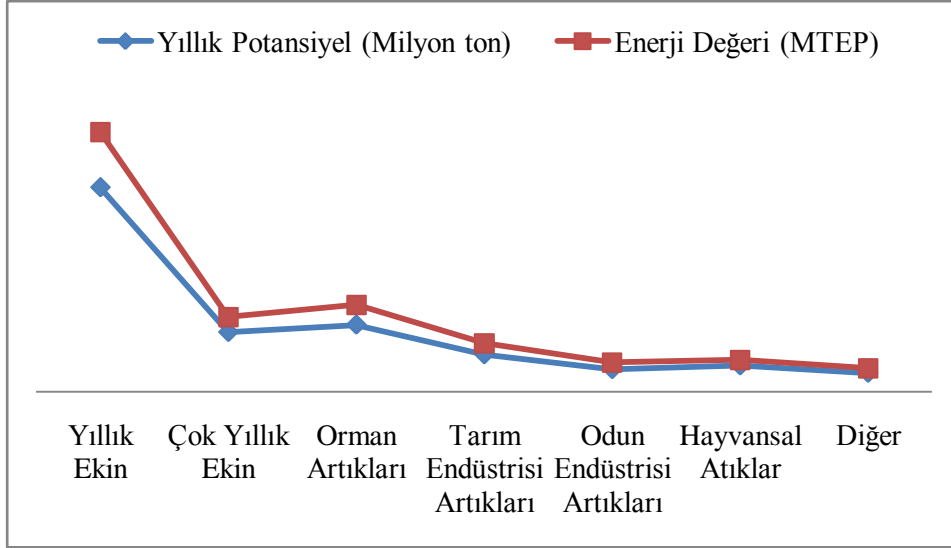


Şekil 7.2: Birincil Enerji Kaynakları Yerli Üretimi Yüzdesel Dağılımı [20].

Biyokütle enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında teknik potansiyel büyüklüğü ve çeşitli üstünlükleri ile öne çıkabilmektedir. Biyokütle enerjisi, doğal iklim koşullarına çok bağlı olmayan, sürekli ve temiz bir yenilenebilir enerji çeşididir. Biyokütle enerji kaynaklarının yaşam döngüsü analizlerine bakıldığında CO₂ salınımı nötrdür. Bu nedenle Kyoto sözleşmesine taraf olmanın getirdiği yükümlülükler kapsamında, biyokütle enerjinin değerlendirilmesi doğru bir adım olacaktır. Biyokütle enerji kaynakları buldukları bölge içerisinde değerlendirilebildikleri için, büyük şehirler dışındaki küçük yerleşim alanlarında iş gücü yaratılabilmesi açısından da katkı sağlayabileceklerdir. Kaynağında değerlendirilebilen biyokütle enerjisinde, iletim ve dağıtım kayıp ve kaçakları da söz konusu olmayacaktır.

Türkiye için biyokütle enerjisi kaynakları çeşitlilik arz etmektedir. Enerji ormanları, ağaç artıklarının yanı sıra, yağlı tohum, karbo-hidrat ve elyaf bitkileri ile bitkisel artıklar, hayvansal, şehirsal ve endüstriyel atıklar da söz konusudur.

Türkiye'nin yıllık biyokütle potansiyeli ve enerji değerleri yüzdesel dağılımına (Şekil 7.3) bakıldığında potansiyel açısından yıllık ekinlerin %47, enerji değerleri açısından ise %46 ile en yüksek paya sahip olduğu görülmektedir. Yıllık ekinlerin ardından % 15'lik yıllık potansiyeli, %17 enerji değeri ile orman artıkları ve % 14 yıllık potansiyeli, %13 enerji değeri ile çok yıllık ekinler gelmektedir. Tarım endüstrisi atıkları ise yüzdesel dağılımda % 9 yıllık potansiyelle ve aynı oranda enerji değerine sahiptir.

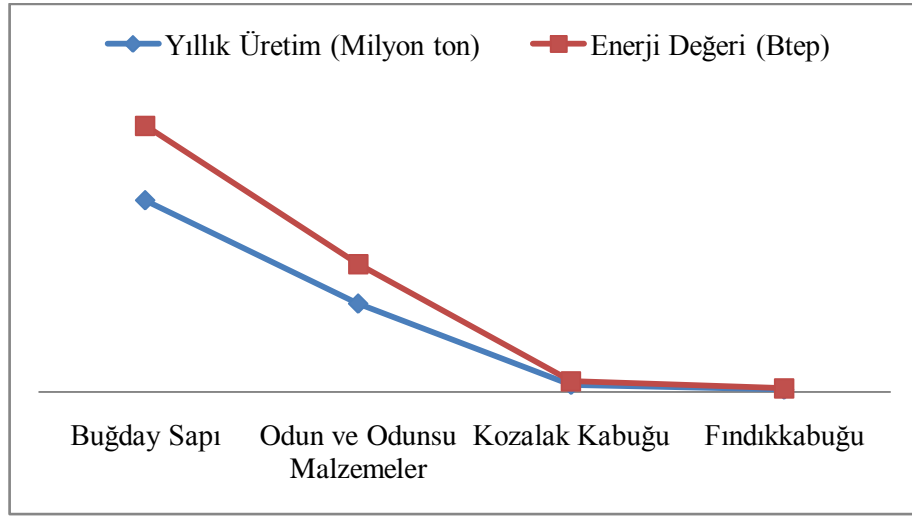


Şekil 7.3: Yıllık Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Değerleri Dağılımı [20].

Yıllık ekin, çok yıllık ekin ve orman artıkları kapsamında Türkiye'nin temel biyokütle ürünleri potansiyeli ve enerji değerleri dağılımı yüzdesel olarak değerlendirildiğinde (Şekil 7.4) % 66 yıllık üretim potansiyeline sahip olan buğday sapının enerji değerinin de 10,1 BTEP olduğu görülmektedir [22]. Buğday üretimi, ülkemizin her bölgesinde yapılmakta olup, tarla ürünleri içerisinde ekili alan ve üretim miktarı bakımından ilk sırayı almaktadır. Bu nedenlerle, tüm coğrafi bölgelerde buğday sapından biyoenerji elde edilmesi mümkündür. Buğday sapından sonra odun ve odunsu malzemeler potansiyeli yıllık üretimde % 30'luk pay ile ikinci sırada yer almakta ve bu orana karşılık olarak da 5,358 BTEP enerji değerine sahip olmaktadır.

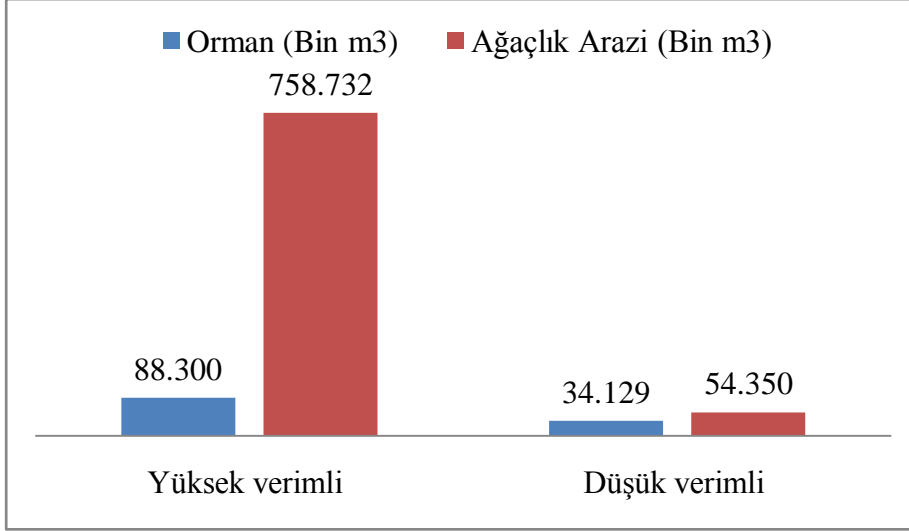
Ülkemizde orman ekosistemlerinin günümüz modern kullanım fonksiyonlarına uygun sürdürülebilir yönetimle değerlendirilmesi gerekmektedir. Toplam orman alanlarımızın coğrafi bölgelere göre dağılımında Karadeniz Bölgesi %24, Akdeniz Bölgesi %19, Ege Bölgesi %18, Marmara Bölgesi %14, İç Anadolu Bölgesi %11, Doğu Anadolu Bölgesi %8, Güney Doğu Anadolu Bölgesi %6'lık oranlarla sıralanmaktadır [30]. Enerji tüketiminin yoğun olduğu Marmara, Karadeniz, Akdeniz, Ege bölgelerinde odun ve odun dışı orman artıklarının sahip oldukları yüksek ısı değerlerinin verimli ve çevresel açıdan etkin tesislerde modern enerji üretimi amacıyla kullanılması mümkündür.

Kozalak kabuğu ve fındikkabuğu yıllık üretim potansiyelinde toplamda %4'lük pay ile yer almakta ve enerji değerleri toplamı da 0,63 BTEP olmaktadır. Kozalak kabuğundan enerji üretimi olasılığı orman potansiyeli ile değerlendirilebilir. Türkiye'deki fındık dikim alanlarının %60,2'si asıl üretim bölgesi olan Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Fındikkabuğunun 19,2 MJ/ kg olan yüksek ısı değeri, enerji kaynağı potansiyelleri arasındaki yıllık tahmini $3,5 \times 10^5$ ton ile yer aldığı düşünüldüğünde, Karadeniz Bölgesi içinde modern enerji üretimi açısından değerlendirilmesi gereken bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır [22].



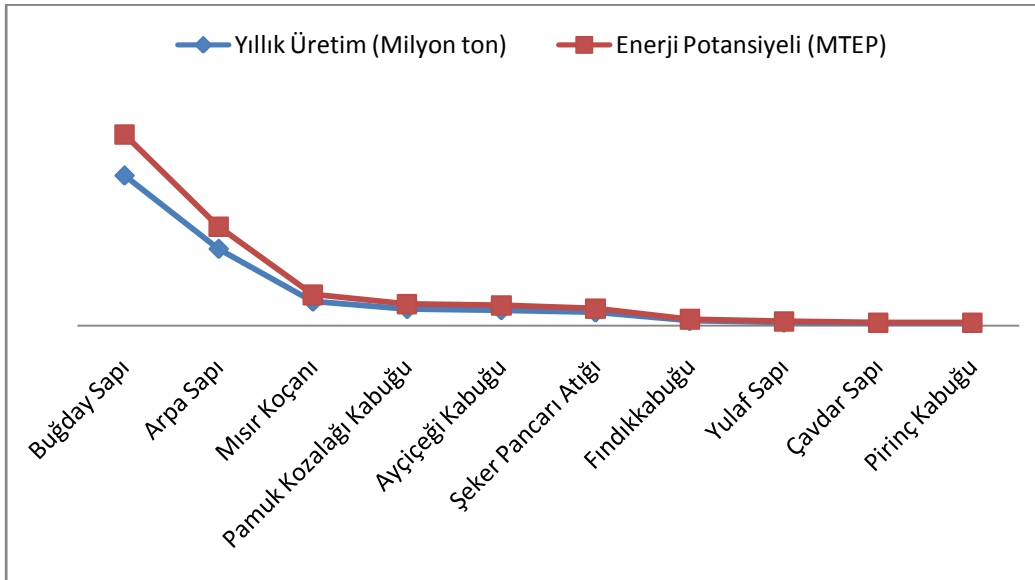
Şekil 7.4: Türkiye'nin Temel Biyokütle Ürünleri Potansiyelleri ve Enerji Değerleri Dağılımı [22].

Yıllık biyokütle potansiyeli ve temel biyokütle ürünleri potansiyelleri yüzdesel dağılımında (Şekil 7.5) buğday sapından sonra Türkiye için en alternatif biyokütle kaynağı olarak görülen odun ve odunsu malzemeler orman potansiyeli içerisinde yer almaktadır. Orman potansiyeli kaynak dağılımına bakıldığında, yüksek verimli ormanların düşük verimli ormanların yaklaşık 13 katı olduğu görülmektedir [22]. Yüksek verimli ve düşük verimli ormanlar içerisinde ağaçlık arazinin payı büyüktür. Ağaçlık arazilerdeki odun ve odun dışı orman artıklarından ve orman arazilerindeki enerji ormancılığı açısından kullanılacak ağaçlardan alternatif yakıtlara eş değer katı, sıvı, gaz ürünler elde edilebilir. Ayrıca bu potansiyel, bölgesinde uygulanmak ve bölgesel ihtiyaçları kayıp-kaçaksız karşılayabilecek şekilde kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde elektrik, ısıtma ve soğutma amacıyla değerlendirilmelidir.

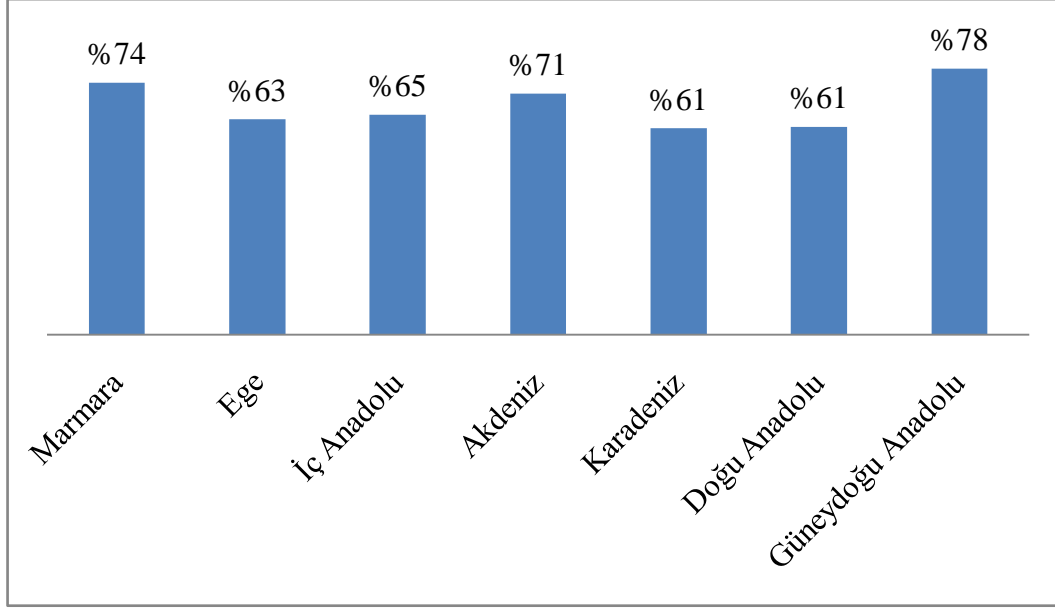


Şekil 7.5: Orman Potansiyelinin Kaynak Dağılımı [22].

Tarımsal artıkları ve enerji potansiyelleri (Şekil 7.6) arasında buğday sapı yıllık üretimde % 49 ile en büyük yüzdeye sahiptir. Ardından %25 ile arpa sapı, %8 ile mısır koçanı %5 ile pamuk kozalağı kabuğu ve ayçiçeği kabuğu, %4 ile şeker pancarı atığı, %1 ile fındikkabuğu ve yulaf sapı yer almaktadır [22]. Ülkemizde tarım endüstrisi ekili alanlarının coğrafi dağılımına (Şekil 7.7) bakıldığında ise, Güneydoğu Anadolu ve Marmara Bölgesi ilk sıraları almaktadır. Tarımsal alanların toplam alanlara oranının yüzdesel büyüklüğüne göre, tarım artıklarının aynı oranlarda olabileceği ve bu artıkların da Türkiye için önemli bir biyokütle enerji kaynağı olabileceğinin söylenmesi çok yanlış olmayacaktır.



Şekil 7.6: Tarımsal Artıkları ve Enerji Potansiyelleri [22].



Şekil 7.7: Toplam Alan İçersinde Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünlerin Ekili Alan Yüzdesel Dağılımı [30].

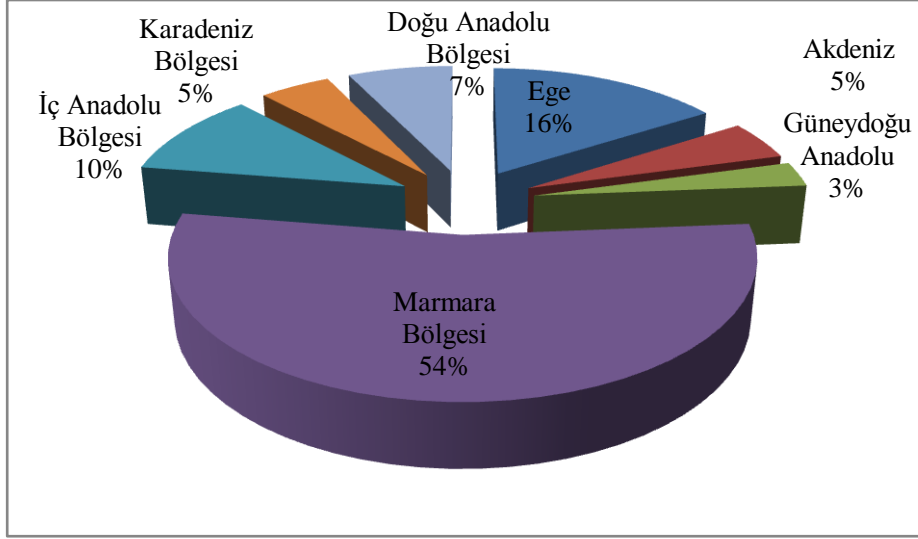
Tarım ve orman ürünleri ve artıklarının yanı sıra sığır, keçi-koyun, tavuk-hindi gibi hayvanların atıkları da biyogaz için uygundur. Bu hayvansal atıklar da bölgesel üretim değerlerine (Çizelge 7.1) paralel olarak değerlendirilmelidir.

Çizelge 7.1: Biyogaz Üretimine Uygun Hayvan Cinslerinin Bölgesel Dağılımı [30].

BÖLGE ADI	Sığır (adet)	Koyun-Keçi (adet)	Kümes Hayvanı (adet)
Ege	175.309	3.425.713	45.541.311
Akdeniz	96.094	2.876.176	11.832.090
Güneydoğu Anadolu	463.264	5.307.449	3.504.968
Marmara Bölgesi	155.533	3.156.199	162.645.154
İç Anadolu Bölgesi	355.751	4.788.428	27.192.890
Karadeniz Bölgesi	726.198	1.550.279	12.690.660
Doğu Anadolu Bölgesi	1.345.027	10.644.407	10.141.416

Biyogaz üretimine uygun hayvan cinslerinin toplam sayılarının coğrafi dağılımına bakıldığında (Şekil 7.8) Türkiye’de yetiştirilenlerin %54’ün Marmara Bölgesinde olduğu dikkati çekmektedir. Marmara Bölgesindeki endüstriyel işletmelerin elektrik tüketimi ülke genelindeki sanayi kuruluşlarının toplam elektrik tüketiminin %45’i olmaktadır [30].

Sanayinin en geliştiği bu bölgede var olan mevcut hayvansal atıkların işletmelerin kendi ihtiyaçlarını karşılamak veya fazlasını satmak üzere fabrikalarına entegre olarak enerji kullanımında değerlendirilmesi bölgenin enerji ihtiyacını önemli ölçüde karşılayacağı görülmektedir.



Şekil 7.8: Biyogaz Üretimine Uygun Hayvan Sayısının Coğrafi Dağılımı [30].

Hayvansal atıkların yanı sıra, düzenli depolama standartlarına göre depolanan evsel katı atıklardan enerji üretimi uygulamalarının kapasitesi de Nisan 2009 itibariyle Türkiye genelinde 40,12 MW kurulu güce ulaşmıştır [28]. Diğer yandan, 2006 yılı belediye katı atık temel göstergelerine göre toplanan belediye katı atık miktarı 25.280 bin ton'dur. Toplanan katı atıklardan sadece 9.428 bin tonu düzenli depolama sahalarına götürülebilmiştir. Oysaki 2006 yılı verileriyle Türkiye'de toplam 22 adet düzenli depolama sahası bulunduğu ve bu sahaların toplam kapasitesinin de 376.974 bin ton olduğu bilinmektedir [30]. Türkiye'de bulunan toplam 3.225 belediye bulunduğuna göre, düzenli depolama sahalarına götürülen katı atıklarla elde edilebilecek güç üretimi büyüklüğünün ve üstünlüklerinin göz ardı edilmemesi gerektiği ortadadır.

Türkiye'de yıllara göre biyokütle enerji kaynaklarından geleneksel ve planlanmış modern tekniklerle enerji üretim projeksiyon değerlerine (Çizelge 7.2) bakıldığında, hedeflenen değerlere ancak yukarıda sözü edilen mevcut potansiyellerin en uygun üretim işlemleri ile enerjiye dönüşümleri sağlandığında gerçekleşebileceği ortadadır. Bu amaç doğrultusunda potansiyellerin bölgesel kalkınmaya uygun olarak değerlendirilebilmesi, olası biyokütle potansiyeli uygulamalarının yaygınlaşabilmesi

için; konuyla ilgili uygun işlemlerin belirlenmesi ve bilimsel çalışmaların desteklenmesi gerekmektedir.

Çizelge 7.2: Geleneksel ve Planlanmış Modern Biyokütle Enerjisi Üretimi [22].

Yıl	Geleneksel Biyokütle (MTEP)	Modern Biyokütle (MTEP)	Toplam (MTEP)
1999	7,012	0,005	7,017
2000	6,956	0,017	6,982
2005	6,494	0,766	7,260
2010	5,754	1,66	7,414
2015	4,79	2,53	7,32
2020	4,0	3,52	7,52
2025	3,345	4,465	7,81
2030	3,31	4,895	8,205

Ekolojik tahribata yol açmayan biyokütle enerjisinin üretimi, yakıtın türü, kullanımı konularında gerekli detaylı standart ve yönetmelik çalışmaları da en kısa zamanda gerçekleştirilmelidir. Biyoyakıtların kullanımı yurt içi gıda ve yem ihtiyacını etkilemeyecek şekilde programlanmalı ve desteklenmelidir. Çevre korunumu temel ilke kabul edilerek, çöp depolamada biyobozunabilir atıklar biyokütle enerjisi kapsamında değerlendirilerek etkin atık yönetimi de sağlanmalıdır. Bu sayede atıkların neden olduğu çevresel sorunlar, güvenlik ve sağlık tehlikeleri de önlenmiş olacaktır. Enerji üretim sektörü gelişmiş ülkelerde olduğu gibi Türkiye’de de biyokütle potansiyellerinin değerlendirilmesi için yönlendirilmeli ve teşvik edilmelidir. Enerji verimliliği kapsamında enerji yoğun sektör olan sanayi, enerji yoğunluğunu azaltmak ve rekabet gücünü artırmak için bulunduğu bölgesel şartlar altında olası biyokütle kaynaklarından uygun olanını kendi ihtiyacını sağlamak ve/veya fazlasını satmak üzere teşvik edilmelidir. Otoprodüktör lisansına sahip sanayi tesislerinde de biyokütle enerji kaynaklarının kullanılabilirliği, mevcut kojenerasyon tesislerinde değerlendirmelidir.

8. SONUÇ

İnsan yaşamının vazgeçilmez bir parçası olan enerji, geçmişte olduğu gibi günümüzde de dünya gündeminde tartışılan konuların başında yer almaktadır. Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişiminde, toplumsal refahın artırılmasında vazgeçilmez bir etken olmaya devam etmektedir. Stratejik bir alan olan enerji sektöründe sorunlara stratejik bakış açılarıyla yaklaşılması bir zorunluluktur. Enerji sektöründe sadece olası talebi karşılamaya yönelik biçimde oluşturulacak enerji stratejilerinin hem yetersiz kalacağı hem de dünyadaki yaygın eğilimlerle uyumlu olmayacağı görülmektedir. Enerji politikalarının amacı kesintisiz, güvenilir, temiz ve ucuz enerji elde etmek olmalıdır. Bu çerçevede, tüketime sunulan enerjinin verimli kullanılmasının yanı sıra kaynak çeşitliliğinin de artırılması enerji politikaları açısından önemlidir.

Günümüzde yeni enerji kaynakları bulma çalışmaları giderek artmaktadır. Araştırmalar yeni, ekonomik ve yenilenebilir enerji kaynaklarını keşfetmeye odaklanmış olup, yenilenebilir enerji kaynaklarının her geçen gün giderek yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Bu enerji kaynaklarından birisi odunu, yağlı tohum ve karbo-hidrat bitkilerini, biyobozunabilir atıkları, tarımsal, endüstriyel ve şehirsal artıkları içeren biyokütledir. Bu kaynaklardaki biyokütle enerjisi enerji teknolojisinde kullanılabilir üzere ve alışılmış yakıtlara alternatif olarak katı, sıvı ve gaz yakıtlara çeşitli termokimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle dönüştürülebilmektedir. Biyoyakıtlar ısı, elektrik ve taşıtlar için yakıt olarak kullanılabilir, yakma sistemlerinde, kazanlarda, jeneratörlerde, içten yanmalı makinelerde ve türbinlerde de kullanılabilir.

Ulaşılabilir istatistiksel veriler esas alındığında, biyokütle enerjisinin dünyada ve Türkiye’de kullanılmak üzere önemli bir teknik potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Dünya’ nın gelişmiş ülkelerinde ve Avrupa Birliği gibi uluslar arası topluluklarda biyokütle enerjisine olan yatırımların arttığı, diğer ülkelerde de uygulamalarının yaygınlaştığı gözlemlenmektedir.

Ülkemizde mevcut yasal yapı biyokütle enerjisinden ihtiyaç doğrultusunda elektrik üretilmesine ve ihtiyaç fazlasını da satılabilmesine olanak sağlamaktadır. Sahip olunan yasalara ek olarak devlet tarafından yatırımlar da desteklenmekte ve teşvikler verilmektedir. Hatta üreticiye satış garantisi sağlanması amacıyla kapsamında Nisan

2009 itibari ile 5346 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amacıyla Kullanımına İlişkin Kanun” kapsamında Türkiye Büyük Millet Meclisi, Yenilenebilir Enerji Komisyonu tarafından belirlenmiş olan alım fiyatı üzerine verilen değişiklik teklifi hakkında toplantılar ve çalışmalar da devam etmektedir.

Biyokütle enerjisinin dünyada giderek kullanımının artmasına paralel olarak, ülkemizdeki yasal haklar çerçevesinde enerji yoğun sektör olan sanayide ve katı atık hizmeti veren belediyelerde biyokütleden enerji eldesi uygulamaları örnekleri de oluşmaktadır. Nisan 2009 itibari ile biyokütleden enerji elde etmek üzere Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’ndan lisans almış olan 11 adet tüzel kişi bulunmaktadır. Bazı tüzel kişiler birden fazla lisans ile piyasada yer almaktadır. Tesislerden 10 tanesi üretim lisansına, 5 tanesi otoprodüktör lisansına, 1 tanesi de otoprodüktör grubu lisansına sahiptir. Lisans sahibi tüzel kişilerden biri hem biyokütle hem de çöp gazı tesisine, biri hem biyogaz hem çöp gazı tesisi işletmektedir. Tesis türü toplamında ise biyokütle ile çalışan 1 tesis, biyogaz ile çalışan 9 tesis, çöp gazı ile çalışan 6 tesis bulunmaktadır.

Tez çalışması kapsamında incelenen örnek biyorafineri tesisinde, üretim sonucunda oluşan atık su arıtılmaktadır. Anaerobik arıtma sonucunda ortaya çıkan metan ve diğer gazlar doğaya salınmak yerine, metan gazının sahip olduğu yüksek ısı değerinden yararlanılarak bileşik ısı ve güç üretiminde kullanılmaktadır. Bu üretimin tesise sağladığı toplam enerji 90,45 TEP olmakta ve bu miktar tesisinin toplam enerji tüketiminde %4’lük bir paya ve dolayısıyla aynı miktarda tasarrufa karşılık gelmektedir.

Türkiye’deki olası biyokütle enerji kaynakları değerlendirildiğinde, arasında tarım endüstrisi artıkları ile odun ve odun dışı orman ürünleri artıklarının, hayvan yetiştiriciliği sonucunda ortaya çıkan hayvansal atıkların, özellikle toplu konutların yüksek oranlarda bulunduğu şehirlerdeki evsel ve şehirsal katı atıkların, biyokütle kökenli tüm endüstriyel atıkların gazlaştırma, fermantasyon, anaerobik çürütme gibi uygun tekniklerle alternatif yakıtlara dönüştürülebileceği gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bu gerçekleştiğinde, biyokütle yakıtları birleşik güç, ısı ve soğutma tesislerinde değerlendirilerek yerli kaynaklardan enerji üretiminin artmasına ve dışa bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlanacaktır.

Bölgesel enerji tüketim değerlerine ve biyokütle potansiyellerine bakıldığında her bölge için alternatif biyokütle potansiyelinin olduğu görülmektedir. Bu potansiyellerin bölgesel kalkınmaya ve istihdama katkısı düşünüldüğünde değerlendirilmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Marmara bölgesi kişi başına elektrik enerjisi tüketimi, konut elektrik enerjisi tüketimi ve sanayi kuruluşları elektrik enerjisi tüketiminde birinci sırada yer almaktadır. Toplam alan içerisinde ekili alanın yüzdesel dağılımına bakıldığında Güneydoğu Anadolu bölgesinden sonra %74 ile ikinci sırada yer alan bölgede, biyokütleden enerji üretimi kapsamında tahıl artıklarının ve diğer bitkisel artıkların değerlendirilmesi mümkün olabilir. Bölgenin önde gelen bitkisel ürünleri buğday, arpa, yağlı tohumlar gibi biyokütle enerji üretiminde yüksek ısı değer taşıyan önemli bitkilerdir. Marmara bölgesi için enerji üretimine uygun biyokütle kaynakları arasında hayvansal kaynaklardan kümes hayvanı, koyun, keçi ve sığır öne çıkmaktadır. Ülke genelinde kümes hayvancılığı yetiştiriciliğinde birinci sırada yer alan bölge, hayvansal atıklardan enerji üretimi kapsamında yararlanabilir. Nüfus açısından en kalabalık bölge olan Marmara Bölgesinde oluşan evsel ve endüstriyel katı atıklar beş adet düzenli depolama sahasında toplanılmasına rağmen bölgede bir adet kompost tesis mevcuttur. Bölgenin büyük katı atık potansiyeline uygun olarak düzenli depolama sahalarının kapasitesinin ve/veya sayısının artırılması bölgesel açıdan önemli miktarda temiz ve alternatif enerji üretimine katkı sağlayacaktır. Marmara bölgesi, sanayi kuruluşları açısından en gelişmiş bölgedir. Ülkedeki sanayi kuruluşlarının tükettiği toplam enerjinin % 45'inin bu bölgede tüketildiği göz önüne alındığında bölgedeki biyokütle potansiyelinin sanayi tesislerine entegre olarak uygun üretim prosesleri ile enerji üretimi amacıyla kullanılması büyük oranda katma değer sağlayacaktır. Bölgenin yoğun göç alması nedeniyle, yapımı hızla devam eden toplu konutlarda katı atık yönetmeliğine uygun olarak mevcut yasal yapı içerisinde atıklardan enerji üretimi de söz konusu olabilir.

Ege bölgesi konut elektrik enerjisi tüketimi ve sanayi kuruluşları elektrik enerjisi tüketiminde Marmara bölgesinden sonra ikinci sırada yer alırken kişi başına elektrik enerjisi tüketiminde, İç Anadolu ve Karadeniz bölgesinden sonra dördüncü sırada yer almaktadır. Ege bölgesinde yerli turizm, tarım ve sanayi önde gelen sektörlerdir. Toplam alan içerisinde tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin yüzdesel dağılımında Ege bölgesi % 63 ile yer almaktadır. Bölgesel tarım ürünlerinden buğday, şeker pancarı

ve arpa ilk sıralarda yer almaktadır. Bölge biyogaz üretimine uygun olan kümes hayvanları, koyun ve keçi hayvancılığında tüm bölgeler arasında ikinci sırada yer almaktadır. Hayvan yetiştiriciliği sonucunda oluşan hayvansal atıklar bölgenin enerji ihtiyacına uygun dönüşüm teknolojileri ile değerlendirilmelidir. Bölgede on adet düzenli katı atık depolama tesisi mevcuttur. Ege bölgesinin sahip olduğu tüm biyokütle potansiyeli sanayi kuruluşlarına alternatif kaynak yaratımının yanı sıra firmaların çevresel duyarlılıktaki misyonu açısından kullanılabilir. Biyokütle potansiyellerin temiz üretim teknolojileri ile enerji elde edilmesinde kullanımı, bölgenin doğal güzelliğini karşı olumsuz etkileri söz konusu olan diğer enerji elde etme yöntemleri arasında hemen hemen yok denecek kadar azdır.

Akdeniz bölgesi toplam enerji tüketiminde üçüncü sırada yer almakta olup bölgenin toplam alanı içerisinde tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin ekili alana oranı % 71' dir. Bitkisel ürünlerden buğday, şeker pancarı, yağlı tohumlar ve arpa öne çıkmaktayken biyogaz üretimine uygun olarak kümes hayvanı, keçi ve koyun hayvancılığı da söz konusudur. Bölge, beş adet düzenli katı atık deposuna sahiptir. Karadeniz bölgesinden sonra orman varlığı ile ikinci sırada yer alan bölge, bu avantajını orman varlığına zarar vermeyecek doğru politika ve üretim süreçleriyle değerlendirmelidir. Akdeniz bölgesinin ülkemizde turizm açısından en önemli bölge olması yaz aylarında içerisinde enerjiye olan ihtiyacın ve enerji tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Bölgesel açıdan önem kazanan biyokütle kaynaklarının kullanımı ile bölgenin enerji ihtiyacı kesintisiz olarak sağlanabilir. Turizm tesislerinin kendi ihtiyaçlarını karşılamak üzere bölgede bulunan biyokütle kaynak potansiyellerinden yararlanması halinde bölge halkı için istihdam olanakları artacak, tesislerin yeşil enerjiye duyarlı turistler açısından daha çok tercih edilmelerine de ortam sağlayacaktır.

İç Anadolu bölgesi kişi başına toplam elektrik enerjisi tüketiminde Marmara bölgesi ve Karadeniz bölgesinden sonra, mesken elektrik enerjisi tüketiminde ise Marmara ve Ege bölgesinden sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Toplam elektrik enerjisi tüketimine dördüncü sırada olan bölgenin bitkisel biyokütle potansiyelini üretim büyüklükleri ile öne çıkan şekerpancarı, buğday, arpa ürünler oluşturmaktadır. Biyogaz üretimine uygun olarak kümes hayvanı, koyun ve keçi hayvancılığı öne çıkmıştır. İç Anadolu bölgesinin kişi başı ortalama belediye atık miktarının Marmara bölgesinden sonra ikinci sırada yer almasına rağmen düzenli depolama tesisi iki

adettir. Sanayinin gelişmiş olduğu bu bölgede biyokütle potansiyelinin değerlendirilmesi sanayi için alternatif enerji kaynağı yaratılırken, bölge halkı için ucuz ve temiz enerji kullanabilme olanağı sağladığı gibi bölgedeki kırsal kesimlerden büyük kentlere göçe engel olacak istihdam olanakları da yaratacaktır.

Karadeniz bölgesi kişi başına toplam elektrik enerjisi tüketiminde Marmara ve İç Anadolu bölgesinden sonra üçüncü sırada yer alırken toplam elektrik enerji tüketiminde beşinci sırada bulunmaktadır. Bölgenin tarımsal ürünlerine bakıldığında buğday, şeker pancarı ve arpa öne çıkan ürünlere ek olarak Karadeniz bölgesi Türkiye fındık üretiminin yarsısından çoğunu gerçekleştiren bölgedir. Bölgede üretilen fındıkların önemli miktarı kabuksuz olarak yurtdışına ihraç edilmekte olup iç piyasaya sürülen fındıkların ise büyük çoğunluğu kabuksuzdur. Hasattan sonra iç fındıktan ayrılan kabuklar bölgede genellikle tarlalarda veya odun sobalarında yakılmaktadır. Biyokütle enerji üretimi yüksek ısı değeri ile önem arz eden fındık kabuğu uygun dönüşüm teknolojileri ile bölge için alternatif enerji üretiminde kullanılabilir. Bitkisel ürünlerin yanı sıra Türkiye orman varlığının dörde biri sahip olan Karadeniz bölgesi için orman varlığı potansiyeli ile bir tutulabilecek odun ve odun dışı orman ürünlerinin enerji ormancılığı ya da atıklardan enerji üretimi kapsamında yerel değerlendirilmesi bölge için istihdam yaratacağı gibi bölgenin engebeli arazi yapısında elektrik iletim ve dağıtım açısından da kolaylık sağlayacaktır. Bölgede çıkan katı atıklar çöp depolama alanlarında düzensiz olarak bertaraf edilmektedir. Bölgenin atık potansiyelinin çevresel değerlendirilmeye olanak yaratmak amacıyla kullanımını sağlayacak düzenli depolama sahası ve kompost tesis yapılması ihtiyacı vardır.

Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri kişi başı elektrik enerjisi tüketiminde ve toplam elektrik enerjisi tüketiminde sonuncu olan bölgelerdir. Güneydoğu Anadolu bölgesinde bitkisel ürünlerden buğday, arpa ve yağlı tohum bitkileri ön plandadır. Doğu Anadolu bölgesinde ise bitkisel ürünlerden buğday, şeker pancarı ve arpa yüksek üretim miktarlarıyla ilk sıralarda yer almaktadır. Toplam alan içerisinde tahıllar ve bitkisel ürünlerin ekili alan dağılımı bakıldığında Güneydoğu Anadolu bölgesi % 74 ile yer almaktadır. Bölgenin toplam alanı içerisinde büyük yer kaplayan ekili alanlardaki üretim sonucu oluşan atık ve artıklar biyokütle potansiyeli açısından sahip oldukları yüksek ısı değerleri ile önem arz etmektedir. Ayrıca bölgenin biyogaz üretimine uygun hayvan yetiştiriliciliğine

bakıldığında koyun, kümes hayvanı, keçi ve sığır yetiştiriciliğinde etkin olduğu görülmektedir. Doğu Anadolu bölgesi, biyogaz üretim miktarı açısından yüksek ısı değeri sahip olan sığır yetiştiriciliği ile tüm bölgeler arasında birinci, keçi yetiştiriciliği ile de ikinci sırada yer aldığı görülmektedir. Güneydoğu Anadolu bölgesinde bir adet düzenli depolama tesisi varken, Doğu Anadolu bölgesinde düzenli depolama tesisi mevcut değildir. Her iki bölgenin de sahip olduğu biyokütle potansiyellerinin yerel değerlendirilmesi bölge halkı için büyük istihdam yaratacağı gibi bölgelerin elektrik iletim ve dağıtımında ortaya çıkan kayıp kaçak oranlarında da azaltmaya neden olacaktır.

Tüm bu konular göz önüne alındığında, enerji politikamızın ulusal çıkarlarımızı gözetme ve enerjide dışa bağımlılığımızı azaltma amaçlı yerli kaynaklara dayalı uzun vadede değişmeyen temel unsurları içerecek şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Türkiye genelinde biyokütleden enerji üretiminin geniş çapta kullanımı ile başta CO₂ ve SO₂ salınımları azaltılarak küresel ısınma ve asit yağmurları önlenebilecek; hayvansal atıkların kullanılması ile de hayvan gübrelerinden kaynaklanan insan sağlığını ve yeraltı sularını tehdit eden hastalık etmenleri büyük oranda ortadan kaldırılabilecektir. Kyoto Sözleşmesinin getirileri doğrultusunda, yerli kaynaklarımızın bir plan dâhilinde aranmasını ve çeşitli sektörler içinde dengeli bir şekilde kullanımını öngören bir genel enerji planlamasının yapılmasına da gereksinim vardır. Yenilenebilir kaynak potansiyelimiz destek ve teşviklerle daha büyük ölçüde değerlendirilmeli, enerji tarımı olgusu enerji politikalarına entegre edilmelidir. Şehirselle ve endüstriyel atık geri dönüşümü hakkında halk bilinçlendirilmeli, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ilgili orta ve uzun vadede tutarlı hedefler konulmalı, bu hedeflerin gerçekleşmesini sağlayacak stratejiler oluşturularak yol haritaları belirlenmelidir. Hedeflerin gerçekleşmesini takip etmek üzere izleme mekanizmaları oluşturulması da çok önemlidir.

Türkiye'nin ekonomik, sosyal ve kültürel açıdan gelişmesinin temelinde enerji gereksinimini sürekli, sağlıklı, temiz, ucuz ve bağımsız elde etmesinin bulunduğu kabul edilen bir olgudur. Bu olgunun ülkenin enerji güvenliğine, daha kapsamlı olarak çevresel güvenliğine etkileri büyüktür. Bu noktada Türkiye gerçek veriler ve hedeflerle hazırlanmış, özsel değerlerinin değerlendirilmeye katıldığı, sosyal ve siyasi yapısının bağlı olduğu unsurlar eşliğinde sürdürülebilir enerji politikaları ile ekonomik bağımsızlığını artırarak kalkınma yolunda daha hızlı ilerleyebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] **Tuğrul, B.**, 2008: Enerji Ekonomisi ve Politikaları Bahar Yarıyılı Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü.
- [2] **Karaosmanoğlu, F.**, 2006: Biyoyakıt teknolojisi ve İTÜ araştırmaları, ENKÜS 2006- İTÜ Enerji Çalıştayı ve Sergisi, İstanbul, 22-23 Haziran, s. 110-125.
- [3] **Türe, S.**, 2001: Biyokütle Enerjisi, Temiz Enerji Vakfı, Ankara,s. 1-5.
- [4] **Renewable Energy Policy Network For The 21st Century**, 2008: Renewables 2007, Global Status Network, s. 9-14.
- [5] **Klass, D.L.**, 1998: Biomass For Renewable Energy, Fuels And Chemicals, Academic Press, London, Bölüm 5-9, 12.
- [6] **Bay,B.**, 2005: Çeşitli Bitkisel Atıkların Karbonizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s. 26.
- [7] **I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi**, 2007: Bildiri Kitabı, İstanbul, 11-13 Nisan, s. 487-489.
- [8] <www.eie.gov.tr>, alındığı tarih 25.04.2009.
- [9] <www.biyogaz.com>, alındığı tarih 25.04.2009.
- [10] **International Energy Agency**, 2007: world energy outlook, s. 76.
- [11] **International Energy Agency**, 2008: Key World Statistics, s. 6-35.
- [12] <<http://world.bymap.org>>, alındığı tarih 25.04.2009.
- [13] <<http://www.eia.doe.gov>>, alındığı tarih 25.04.2009.
- [14] **Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Makine Mühendisleri Odası**, 2008: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Oda Raporu, Ankara, s. 13-20
- [15] **Karaosmanoğlu, F.**, 2009: IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Binalarda Enerji Performansı Sempozyumu, Bildiri Kitabı, İzmir, s. 863-868.
- [16] **Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği**, 2006: Enerji Raporu, Ankara, s. 12.
- [17] **Karaosmanoğlu, F.**, “Dünyada Enerjiye Duyulan İhtiyaç ve Alternatif Enerji Kaynaklarına Yöneliş”, Türkiye’nin Enerji Stratejisi Ne Olmalıdır? Sempozyumu, Stratejik Araştırmalar Enstitüsü İstanbul, Ocak 2006.
- [18] **Erdin, E., Şirin., G., Alten., A.**, 2002: Biyokütle Enerjisi ve Avrupa Birliği, Biyoenerji Bildiri.
- [19] <www.iea.org>, alındığı tarih 03.05.2009.
- [20] <<http://www.enerji.gov.tr>>, alındığı tarih 20.04.2009.

- [21] **Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi**, 2007: Türkiye Enerji Raporu 2005-2006, Ankara, s. 9.
- [22] **Balat, M.**, 2005: Use Of Biomass Sources For Energy In Turkey And A View To Biomass Potential, Biomass and Bioenergy **29** s. 32-41.
- [23] **5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu**, 18.4.2007.
- [24] **5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun**, 10.5.2005.
- [25] **Aksoy, S., 2008** :Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanununda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun Teklifi.
- [26] **Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu**, 2007: Enerji Yatırımcısının El Kitabı, Ankara.
- [27] **Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği**, 04.08.2002.
- [28] <www.epdk.gov.tr> , alındığı tarih 25.04. 2009.
- [29] <www.kojenerasyon.com>, alındığı tarih 25.04.2009.
- [30] <www.tuik.gov.tr>, alındığı tarih 02.05.2009.
- [31] **Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2006: Orman Varlığımız, Ankara, s. 19

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Fahriye Enda ÇAĞAL

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 1985

Lisans Üniversitesi: Orman Endüstri Mühendisliği

Yayın Listesi:

Lisans Bitirme Tezi : “ Biyokütle Pirolyzi ve Pirolyz Ürünlerinin Odunun Dayanıklılığı Üzerindeki Etkilerin İncelenmesi”, İstanbul Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2006-2007 Bahar Dönemi.