BİYOKÜTLE ENERJİSİNİN TÜRKİYE'DEKİ KULLANIM OLANAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ayberk Ayan
201421101

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Yönetimi Anabilim Dalı
Enerji Etkin Yapılar Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emin Şentürk

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Haziran, 2022

BİYOKÜTLE ENERJİSİNİN TÜRKİYE'DEKİ KULLANIM OLANAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ayberk Ayan
201421101
Orcid: 0000-0003-4641-5351

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Yönetimi Anabilim Dalı
Enerji Etkin Yapılar Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emin Şentürk

İstanbul
T.C. Maltepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Haziran, 2022



JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*" ile bildirilen 6689 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

Bu belge, Yükseköğretim Kurulu tarafından 19.01.2021 tarihli "*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*" ile bildirilen 6689 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu kapsamında gizlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans ders süreci ve tez çalışmam süresince kıymetli bilgilerini benimle paylaşan, planlayan, sabırla beni dinleyen ve çözüm önerileri sunan, tez konusu seçiminde isteklerimi önemseyen saygıdeğer danışmanım Dr. Ahmet Emin ŞENTÜRK'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca beni her türlü zorluğa göğüs gererek bugünlere getiren ve evlatları olmaktan şeref duyduğum annem Mürvet AYAN'a ve babam Süleyman AYAN'a sonsuz teşekkür ederim. Bununla birlikte her zaman bana destek olan kuzenim Merve ÖZER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayberk Ayan

Haziran, 2022

ÖZ

BİYOKÜTLE ENERJİSİNİN TÜRKİYE'DEKİ KULLANIM OLANAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ayberk Ayan
Yüksek Lisans Tezi
Disiplinlerarası Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Yönetimi Anabilim Dalı
Enerji Etkin Yapılar Tezli Yüksek Lisans Programı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emin Şentürk
Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2022

Günümüzde Türkiye başta olmak üzere küresel ölçekte bütün ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarını ve çeşitliliğini arttırma stratejisi içerisindedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütle enerjisi yeryüzünde en yaygın bulunan ve insanlık tarihi kadar eski bir enerji kaynağı durumundadır. Bununla birlikte biyokütle enerji kaynağı materyalleri elektrik, ısı ve yakıt ihtiyacının karşılanması, depolanabilir olması, enerji üretiminde iklimsel koşullardan diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha az etkilenmesi ve atıkların bertaraf edilmesi başta olmak üzere diğer birincil enerji kaynaklarına göre birçok üstün tarafı bulunmaktadır.

Bu çalışmada, biyokütle enerji kaynakları, teknolojileri, Türkiye'de ve küresel ölçekte potansiyeli, üretim ve kullanım miktarları, biyokütle enerji santrallerinin durumu, biyokütle enerjisi ve orman kaynaklı biyokütle enerjisinin yenilenebilir enerji açısından önemi detaylı olarak incelenmiş ve çalışmanın kapsamı belirtilmiştir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyeli miktarını belirlenmesine, üretim ve kullanım miktarının arttırılmasına, var olan sorunların belirlenmesine ve orman kaynaklı biyokütle enerji materyallerin etkin ve verimli kullanımına yönelik katkı sunmaktır. Böylelikle bu çalışmanın, Türkiye'de yerli üretimin artması, maliyeti daha ucuz enerji teminini sağlanması, enerji talebinde dış ülkelere olan bağlılığı azaltması, istihdamın artması, sera gazı salınımlarının ve karbon ayak izi miktarının azaltılması ve Paris İklim Değişikliği antlaşmasında yükümlülüklerini yerine getirmesi noktasında olumlu katkı sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Orman, Biyokütle Enerjisi, Süreklilik.

ABSTRACT

EVALUATION OF USAGE OPPORTUNITIES OF BIOMASS ENERGY IN TURKEY

Ayberk Ayan
Master's Thesis
Department of Interdisciplinary Renewable Energy Technologies and Management
Energy Efficient Buildings Thesis Master's Program
Advisor: Asst. Prof. Member Ahmet Emin Şentürk
Maltepe University Graduate School, 2022

Today, all countries on a global scale, especially Turkey, are in the strategy of increasing the amount and diversity of energy obtained from renewable energy sources. Biomass energy, which is among the renewable energy sources, is the most common energy source on earth and is as old as human history. At the same time, biomass energy source materials have many advantages over other primary energy sources, especially in meeting electricity, heat, fuel needs, being storable, being less affected by climatic conditions in energy production than other renewable energy sources, and disposal of wastes.

In this study, biomass energy sources, technologies, potential in Turkey and on a global scale, production and usage amounts, the status of biomass power plants, the importance of biomass energy and forest-derived biomass energy in terms of renewable energy are examined in detail and its scope is stated. The aim of this study is to contribute to the determination of the amount of biomass energy potential of Turkey, to increase the amount of production and use, to determine the existing problems and to the effective and efficient use of forest-derived biomass energy materials. Therefore, it is expected that this study will make a positive contribution to increasing domestic production in Turkey, providing cheaper energy supply, reducing dependency on foreign countries in energy demand, increasing employment, reducing greenhouse gas emissions and carbon footprint, and to fulfillment of its obligations under the Paris Climate Change Agreement.

Key Words: Renewable Energy, Forest, Biomass Energy, Continuity.

İÇİNDEKİLER TABLOSU

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ii
ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZ v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER ..... vii-viii
TABLOLAR LİSTESİ ..... ix-xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
KISALTMALAR xiii
ÖZGEÇMİŞ xiv
BÖLÜM 1. GİRİŞ 1
BÖLÜM 2. BİYOKÜTLE ENERJİSİ VE TEKNOLOJİLERİ 4
2.1. Biyokütle Enerjisi 4
2.1.1. Biyokütle Enerjisi Oluşumu 5
2.2. Biyokütle Enerji Kaynakları 6
2.2.1. Bitkisel Kökenli Biyokütle Enerji Kaynakları 7
2.2.2. Ormanın Asil Ve Yan Mamüllerinden Elde Edilen Ve Orman Biyokütle Enerji Kaynakları 7
2.2.3. Hayvansal Biyokütle Enerji Kaynakları 7
2.2.4. Biyobozunur Atıklar, Kentsel Atıklar Ve Endüstriyel Atıklardan Elde Edilen Biyokütle Enerji Kaynakları 8
2.3. Biyokütle Enerji Teknolojileri 8
2.3.1. Biyokütle Dönüşüm İşlemleri ve Teknolojileri 10
2.3.1.1. Fiziksel Prosesler……11
2.3.1.2. Termokimyasal Prosesler……14
2.3.1.3. Biyolojik Ve Kimyasal Prosesler……20
BÖLÜM 3. TÜRKİYE'DE VE DÜNYADA BİYOKÜTLE ENERJİSİ 23
3.1. Dünyada Biyokütle Enerjisi 23
3.2. Türkiye'de Biyokütle Enerjisi 30
BÖLÜM 4. TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLE ENERJİSİNİN ÜRETİM KULLANIM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ 38
4.1. Türkiye'de Biyokütle Enerjisinin Üretimi 40
4.2. Türkiye'de Biyokütle Enerjisi Kullanımı 45
BÖLÜM 5. TÜRKİYE'DEKİ BİYOKÜTLE ENERJİSİ SANTRALLERİNİN DURUMU 50

5.1. Yıllara Göre Biyoenerjisi Kurulum Gücü Ve Elektrik Üretimindeki Payı 56
5.2. Türkiye'de Biyoenerji Santrallerinin Kuruluşlara Göre Güç Ve Santral Sayısı Dağılımı 58
5.3. Lisanssız Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı Ve İhtiyaç Fazlası Olarak Sisteme Verilen Enerji Miktarı 59
5.4. Enerji Santrallerinin Emre Amadelik Oranı, Ortalama Çalışma Oranı ve Kapasite Faktörü 61
5.4.1. Emre Amadelik Oranı 61
5.4.2. Kapasite Faktörü 65
5.4.3. Ortalama Çalışma Oranı 66
5.5. Türkiye'nin En Büyük Kurulu Güce Sahip Biyokütle Kökenli Ve Biyogaz Enerji Santralleri 71
5.6. 2021-2025 Yıllarında Devreye Girecek Santrallerin Kurulu Güç Değerleri Projeksiyonu 72
5.7. Enerji Santrallerinin Maliyetleri ve Ömrü 77
5.8. Kaynağa Göre Mevcut Ve Güncellenen YEKDEM Fiyatları VE YEK Destekleme Mekanizması Fiyatlarının Güncellemesinde Dikkate Alınacak Üst Sınırlar 80
5.9. Türkiye'nin 2021 Yenilenebilir Ve Biyokütle Enerji Yatırımları 85
BÖLÜM 6. BİYOKÜTLE ENERJİSİNİN YENİLENEBİLİR ENERJİ AÇISINDAN ÖNEMİ 89
6.1. Biyokütle Enerjisinin Avantajları 90
6.2. Biyokütle Enerjisinin Dezavantajları 93
BÖLÜM 7. TÜRKİYE'DE ORMAN KAYNAKLI BİYOKÜTLENİN YENİLENEBİLİR ENERJİ AÇISINDAN ÖNEMİ 96
7.1. Orman Ve Enerji İlişkilerinde Başarılı Ülke Örnekleri 97
7.2. Yakacak Ve Endüstriyel Odun Üretiminin Yenilenebilir Enerji İçin Üretimi 102
7.2.1. Odun Pelet Örneği 104
7.3. Biyoyakıtların Yenilenebilir Enerji İçin Önemi 106
7.4. Türkiye'de Orman İşletme Şekillerinin Yenilenebilir Enerji İçin Önemi Ve İlişkisi 108
7.5. Yer Üstü Orman Biyokütle Stoklarının Yenilenebilir Enerji ve Süreklilik İçin Önemi 111
7.6. Türkiye'de Orman Ve Ağaç Endüstrisi Atıklarının Enerji Dönüşüm Verileri 112
7.7. Orman Biyokütlesinin Enerjiye Dönüşüm Yöntemleri Ve Kullanım Alanları 114
7.8. Orman Köylerinin Ve Kaçak Ağaç Kesimlerinin Enerji Üretimine Ve Ormanların Sürdürülebilirliğine Etkisi 117
BÖLÜM 8. SONUÇ VE ÖNERİLER 122
KAYNAKÇA 131

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. 2019 Yılı Küresel Birincil Enerji Üretim İthalat ve İhracat İstatistikleri 25

Tablo 2. Dünya Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi (Mtep) 27

Tablo 3. Dünyada Yenilenebilir Enerji Türlerinin İstihdam Sayıları 28

Tablo 4. Biyoenerji Arzının Küresel Potansiyeline Genel Bakış..... 29

Tablo 5. Türkiye'nin Hayvansal Biyokütle Enerjisi Varlığı..... 33

Tablo 6. Türkiye'nin Bitkisel Biyokütle Enerjisi Varlığı 34

Tablo 7. Türkiye'nin Belediye Kökenli Biyokütle Enerjisi Varlığı..... 36

Tablo 8. Türkiye'nin Orman Kökenli Biyokütle Enerjisi Varlığı..... 37

Tablo 9. Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi..... 38

Tablo 10. Ağustos 2020 İtibari İle Türkiye'nin En Fazla Biyokütle Enerjisi Kurulu Gücü Olan İlk 10 Şehir (MW)..... 40

Tablo 11. 2020 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı . 41

Tablo 12. 2020 Türkiye'nin Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretiminin Dağılımı 42

Tablo 13. Türkiye'de Kaynaklara Göre Isı Üretimi..... 43

Tablo 14. Türkiye'de Mevcut Ve Planlanan Biyoenerji Üretimi..... 44

Tablo 15. 2011-2020 Yılları Türkiye Elektrik Tüketimi 45

Tablo 16. Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Kullanım Oranları..... 46

Tablo 17. 2019 Yılında Türkiye'de Üretilen Bazı Tarım Ürünlerinden Elde Edilebilecek Biyoetanol Miktarları..... 48

Tablo 18. Türkiye'de Enerji Talep Tahmini 50

Tablo 19. 2020 Yılı Elektrik Üretim-Tüketim Programı Ve Gerçekleşmesi..... 52

Tablo 20. 2020 Yılı Sonu İtibariyle Elektrik Piyasası Ön Lisans Ve Üretim Lisansı Dağılımı 54

Tablo 21. Yıllara Göre Biyoenerji Kurulum Gücü Ve Elektrik Üretimindeki Payı 57

Tablo 22. 2021 Kasım Ayı Yılı Biyokütle Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Dağılımı 59

Tablo 23. Lisanssız Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı 60

Tablo 24. 2020 Yılında Lisanssız Üretimin İhtiyaç Fazlası Olarak Sisteme Verdiği Enerji Miktarı 60

Tablo 25. 2018-2025 Yılları Arasındaki Emre Amadelik Yüzde Oranları 62

Tablo 26. Enerji Santrallerinin Yıllık Çalışma Saati Ve Kapasite Faktörleri 65

Tablo 27. 2016-2020 Yılları Arasındaki Santrallerin Ortalama Çalışma Oranları 67

Tablo 28. Türkiye'de En Büyük Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı Ve Pirolitik Yağ Enerji Dahil Olmak Üzere Devredeki Kurulu Gücü En Büyük Enerji Santralleri 71

Tablo 29. Türkiye'de Faaliyette Olan En Büyük 10 Biyogaz Enerji Santrali 72

Tablo 30. 2021-2025 Yıllarında Devreye Girecek Santrallerin Kurulu Güç Değerleri . 73

Tablo 31. Enerji Santrali Maaliyetleri 78

Tablo 32. Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Santrallerin Ekonomik Ve Teknik Ömürleri . 79

Tablo 33. Mevcut Ve Güncellenen Yekdem Fiyatları 81

Tablo 34. Yek Destekleme Mekanizması Fiyatlarının Güncellenmesinde Dikkate Alınacak Üst Sınır 84

Tablo 35. 2021 Yılı Kurulu Güç Enerji Yatırımları 85

Tablo 36. 2021 Yılında Biyokütle Enerji Santrallerinin Ünite Güçleri Ve İlave Kurulu Güç Miktarları 87

Tablo 37. Türkiye'de Yıllara Göre Endüstriyel Ve Yakacak Odun Üretim Miktarları 102

Tablo 38. Enerji Karşılaştırılması 105

Tablo 39. Koru Ormanı, Baltalık Orman, Koruya Tahvil Çalışması Yıllara Göre 109

Tablo 40. Türkiye'nin Yıllara Göre Yer Üstü Biyokütle Stokları Ve Ormanlık Arazinin Toplam Arazi Büyüklüğüne Oranı 111

Tablo 41. Biyokütle Ve Kömürün Daha Yüksek Isı Değerlerinin Karşılaştırılması ... 114

Tablo 42. Biyokütle, Biyokütle Dönüştürme Yöntemleri, Yakıtlar Ve Uygulama Alanları 116

Tablo 43. Türkiye'nin Orman Köyü Sayısı Ve Nüfusu 117

Tablo 44. Türkiye'de Yıllara Göre Orman Ağaçlarını Kaçak Kesme Suçu Sayısı Ve Miktarı 119

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Yarı Açık Bir Ekosistemde Biyomastan Enerji Üretimi 5

Şekil 2. Biyokütle Dönüşüm Teknolojileri 9

Şekil 3. Biyokütle Kurutma Sistemi 11

Şekil 4. Helezon (a) Ve Piston Presli (b) ve Hidrolik (c) Briketleme Makinası 13

Şekil 5. Düz Kalıplı (a) Ve Çember Kalıplı (b) Peletleme Teknolojisi 14

Şekil 6. Biyokütle Enerjisi Yakma Teknolojileri 15

Şekil 7. Piroliz Reaktörü Ve Kurutucu Ünite 16

Şekil 8. Isıtma Hızına Dayalı Piroliz Çeşitleri 17

Şekil 9. Gazlaştırıcı Sistem Ünitesinin Şematik Görünüşü 19

Şekil 10. Büyükbaş Hayvansal Atık Arıtım Biyogaz Tesisi Şeması 21

Şekil 11. Türkiye'nin Biyokütle Enerjisi Potansiyeli 31

KISALTMALAR

EPDK **:** Enerji Piyasa Düzenleme Kurumu

YEKDEM **:** Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması

TEİAŞ **:** Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi

EİGM **:** Enerji İşleri Genel Müdürlüğü

OGM **:** Orman Genel Müdürlüğü

HTK **:** Hidrotermal karbonizasyon

ÖZGEÇMİŞ

Ayberk Ayan
Disiplinlerarası Yenilenebilir Enerji Teknolojileri ve Yönetimi Anabilim Dalı

Eğitim

Derece	*Yıl*	*Üniversite, Enstitü, Anabilim Dalı*
Y.Ls.	2022	Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Etkin Yapılar Yüksek Lisans Programı
Ls.	2019	İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü
Lise	2013	Beyoğlu Fındıklı Lisesi

İş/İstihdam

Yıl	*Görev*
2015 -	Orman Genel Müdürlüğü, Stajer Mühendis
2016 -	İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü, Stajer Mühendis

Mesleki Birlik/Dernek Üyelikleri

Yıl	*Kurum*
2019 -	Üye: TMMOB Orman Mühendisleri Odası

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Enerji, insan ömrünün her uygulama noktasında çok fazla ihtiyaç duyulan temel gereksinimlerinin başında gelmektedir. İnsanlar enerji ihtiyaçlarını gerek doğanın sunmuş olduğu hammadde ile gerekse de teknolojinin sağlamış olduğu imkânlardan yararlanarak karşılamıştır. Bu kaynaklar birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere iki ana grup içerisinde değerlendirilmektedir (Başçetinçelik, Karaca, & Öztürk, 2004). Birincil enerji kaynakları her türlü organik yapıya sahip biyokütle, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi, fosil yakıtlar, hidrojen enerjisi, güneş enerjisi vb. doğada doğrudan bulunan enerji kaynaklarını karşılamaktadır. İkincil enerji kaynakları ise çevirim ve dönüşüm teknolojisi ile elde edilen enerji kaynaklarıdır. Sanayi devrimi, hızlı nüfus artışı, küresel ölçekte sosyal ve ekonomik gelişmeler ışığında insanların enerji ihtiyaçlarını yenilenemeyen enerji kaynaklarına olan talebi hızla arttırmasına neden olmuştur. Başta fosil yakıtların ve diğer yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının aşırı kullanımı alternatif olmayan enerji kaynaklarının azalmasına ve buna ek olarak fosil yakıtların kullanımının küresel ısınma, yaşanan doğal afet sayısında artış, iklim değişikliği, sera gazı etkisi gibi bazı kabul edilebilir olmayan neticelerin ortaya çıkarmasına neden olmuştur. Bu durum 1960 ve sonrası yıllarda çevreci hareketlerin çıkmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji ihtiyacının karşılanması noktasında daha yaygın, verimli ve etkin kullanılmasına zemin oluşturmuştur. Günümüzde global enerji üretiminin %81'inden fazlası halen fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. Enerji ihtiyacının gün geçtikçe artması, yaşanan çevresel sorunlar ve yenilenemeyen enerji kaynaklarındaki azalma yenilenebilir enerji kullanımına geçişi artık bir zorunluluk noktasına getirmiştir. Alternatif enerji, Covid-19 salgının başlaması ile birlikte küresel ölçekte üretimi ve kullanımı son derece olumlu yönde ivmelenmiştir. Alternatif enerji talebi 2019 yılına göre 2020 yılında %3 artmıştır. Alternatif enerji talebinin yakıt, ısınma, elektrik ve diğer önemli bütün sektörlerde daha da artması beklenmektedir. Elektrik piyasası, 2021 senesinin sonuna kadar alternatif enerji talebinin %8'den fazla büyümesi ile birlikte 8300 TWh'ye

düzeyine gelerek tüm zamanların elektrik sektöründe alternatif enerji talebinin rekoru kırılacağı öngörülmektedir (IEA, 2021).

Global enerji ihtiyacının daha hızlı karşılanabilmesi amacıyla, enerji kaynaklarının çeşitliliğinin arttırılması, fosil kaynakların kullanımının doğaya ve insan sağlığına verdiği zararları önlemek amacıyla günümüzde ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma ve çeşitliliği artırma yönünde politikalar yürütmektedirler. Bu politikalar çerçevesinde T.C. Enerjı Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019-2023 Stratejik Planı dahilinde güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücünü 2023 yılında 10.000 MW çıkarmayı hedeflemektedir. Rüzgâr enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 2023 yılında 11.883 MW, hidroelektrik enerjiye dayalı elektrik kurulu gücü 2023 yılında 32.037 MW, jeotermal enerji ve biyokütle (biyogaz dâhil) enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 2023 yılında 2.884 MW olarak belirlenmiş olup, yasal düzenlemeler ve saha çalışmaları ile uygulamaya konulmaya başlanmaktadır (T.C.Enerjı Ve Tabıı Kaynaklar Bakanlığı, 2018). Yine bu kapsamda yenilenebilir enerjiyi daha etkin, yaygın ve verimli kullanabilme, fosil yakıtların ve yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının yerini yenilenebilir enerji kaynaklarının almasını amaçlayan, iklim değişikliği ve sera gazı etkisi ile mücadeleyi kapsayan Paris İklim Değişikliği Antlaşması Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından "Paris Antlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun" 7 Ekim 2021 tarihli ve 31621 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı).

Küresel ölçekte en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı biyokütledir. İkinci sırada en yaygın kullanılan alternatif enerji kaynağı ise elektrik kullanımı amaçlı rüzgardır (Toklu, 2017). Biyokütle enerjisinin klasik yöntemle kulanımı insanlık tarihi kadar eskidir. İnsanlık tarihi boyunca geçmişten günümüze insanlar ihtiyaç duyduğu ısınma, hayvan besleme, elektrik üretimi vb. enerji taleplerinin neredeyse hepsini biyokütle enerji kaynaklarından temin etmiştir. Biyokütle enerjisi bitkisel, tarımsal, ormansal, hayvansal, endüstriyel ve kentsel atıklar ile enerji ormanları ürünleri ve enerji bitkileri gibi her türlü organik maddenin, klasik yöntemlerle ya da modern teknolojiler vasıtasıyla dönüştürülmesi sonucu elde edilmektedir. Sürdürülebilir biyokütle kullanımı toprak kalitesi ve miktarı, su kalitesi ve miktarı, biyoçeşitlilik miktarının

korunmasında, hava kalitesi konusunda ve diğer sosyal ve çevresel konularda olumlu etkileri vardır.

Diğer taraftan biyokütle enerji potansiyeli yüksek olan bitkilerin her yerde yetiştirilebilir olması, üretim ve çevrim teknolojilerinin sektörel ölçekte rahat ulaşılabilir olması ve depolanabilir olması başta olmak üzere diğer yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarına göre üstünlüğü bulunmaktadır (Türe, 2001). Bu üstünlüklere karşın Türkiye biyokütle enerjisi üretimi ve kullanımı açısından henüz istenilen noktada değildir. Bu bilgiler ışığında enerjide büyük oranda dışa bağımlı ve biyokütle enerji potansiyeli son derece yüksek olan Türkiye'nin biyokütle enerjisini etkin ve verimli bir şekilde kullanması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu tez çalışmasında, Türkiye başta olmak üzere küresel ölçekte biyokütle enerji teknolojileri, ülkelerin potansiyelleri, kullanım miktarları ile biyokütleden enerji eldesinde mevcut sorunlar ayrıntılı bir biçimde incelenmiş olup çözüm önerileri sunulmuştur.

BÖLÜM 2. BİYOKÜTLE ENERJİSİ VE TEKNOLOJİLERİ

Bu bölümde, biyokütle enerjisine ait genel bilgiler detaylandırılmış olup küresel biyokütleden enerji elde edilmesinde kullanılan teknolojilere yer verilmiştir.

2.1. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi, yeryüzünde yaşayan her türlü biyolojik kökenli organizmaların (bitkiler, ağaçlar, tohumlar vb.), güneş enerjisi yardımıyla gerçekleştirdikleri fotosentez sonucu bünyelerinde depoladıkları organik maddelerin, doğrudan ya da dolaylı olarak oluşturduğu biyokütlelerin (bitkisel atık, hayvan dışkısı vb.), fiziksel ya da kimyasal dönüştürme yöntemleriyle üretilen biyoyakıtlardan elde edilen ve ısınma, elektrik ya da sıvı yakıtlar gibi ihtiyaçların karşılanması amacıyla kullanılan bir enerji türüdür (Rosillo & Calle, 2016). Kentsel atıkların biyokütle enerjisi olarak değerlendirilmesi AB ülkelerinde 1990'lı yıllar itibari ile başlanmıştır. Türkiye'de 2005 senesinde hukuki adımları atılmış olup, biyokütle enerjisi Yenilebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin 5346 sayılı kanun maddesinde biyokütle enerjisinin genel kapsam sınırları ile birlikte tanımlanmıştır.

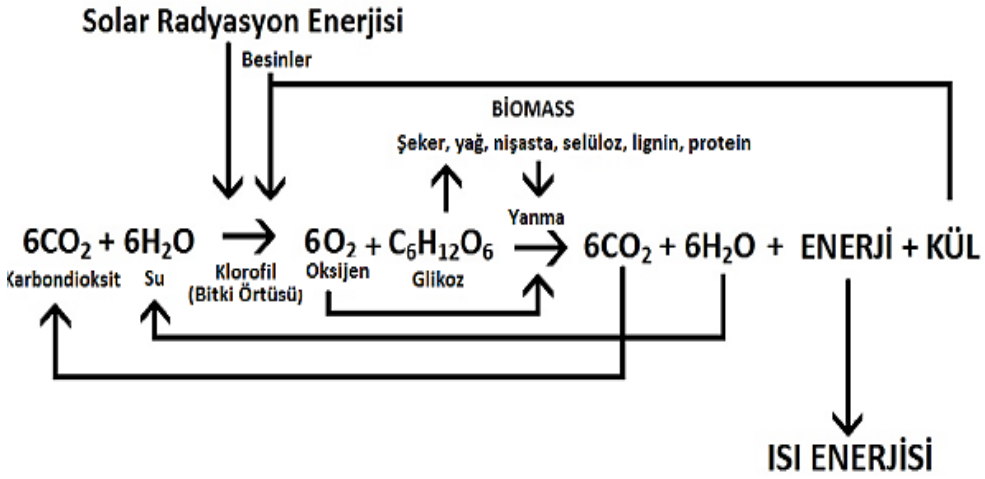
Yaşadığımız zaman diliminde alternatif enerji kaynakları arasında en geniş paya biyokütle enerjisi sahiptir. Biyokütle enerjisi elektrik, ısı ve ulaşım amaçlı yakıt kullanımında olmak üzere oldukça yaygın bir üretim potansiyeline sahip yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ayrıca dağıtımın ötesinde bu enerji çeşitinin özenli bir biçimde yönetilmesi şartıyla aşağıdaki katkıları sunabilecek bir potansiyele sahiptir (Yapar, 2014):

- Global boyutta enerji arzında daha makro kaynak sağlayıcı olma,
- Sera gazı salınımlarında daha büyük makro ölçekte azalma ve diğer çevresel faydalar,
- Enerji emniyetini arttırmak ve fosil yakıtların ithal edilmesinin yerine lokal ölçekte biyokütle üreterek enerji talebinde dışa bağımlılığı azaltma,

- Kırsal bölgelerde sosyal kalkınma ve ekonomik olanaklar yaratma,
- Atıkları imha sorunlarının bir kısmını ortadan kaldırma ve kaynakları daha etkin ve verimli değerlendirmek.

2.1.1. Biyokütle Enerjisi Oluşumu

Bitkiler doğal denge ve ekosistemin yaşamsal döngüsü içerisinde besin, enerji ve endüstriyel hammadde kaynağıdır. Yeşil bitkiler her daim bir enerji kaynağıdır.



Şekil 1. Yarı Açık Bir Ekosistemde Biyomastan Enerji Üretimi (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2014)

Yeşil bitkiler ekosistemdeki yaşamsal döngünün sağlanması, her daim besin, endüstriyel hammadde ve enerji kaynağı olarak kullanılması Şekil 1'de görüldüğü gibi güneş yardımı ile ışık enerjisinin kimyasal enerjiye veya organik maddeye dönüşümü ile gerçekleştirilmektedir. Bu dönüşüm sırasında gerçekleşen tepkime ise fotosentez tepkimesidir. Fotosentez tepkimesi ile oluşan organik yapılı moleküller üretilirken, solunum için zorunluluk durumundaki O_2 atmosfere salınır. Biyokütle enerji kaynağı materyallerin büyümesi ve gelişimini sürdürebilmesi için ışık miktarı ve klorofil katalizörü başta olmak üzere birçok parametre önemli etki göstermektedir. Güneş ışığının biyoenerji kaynağı materyal tarafından tutulma miktarı maksimum %1 düzeyinde olduğu öngörülmektedir (Yılmazer, 2012). Biyokütle, organik madde yapılı tanecilleri kapsayan bir terim olarak kullanılır. Biyokütle tanımı ormansal atıklar, tarımsal atıklar, kentsel atıklar, endüstriyel atıklar, su içinde veya toprakta yetişen bütün

bitkiler, enerji ormanları ve enerji bitkiler vb. organik yapılı maddeler ve atıklar bu tanımlamanın içerisindedir. Biyokütle enerji kaynağı envanter ve atıkların hepsinin ortak özelliği yüz seneden daha az bir zaman diliminde tekrardan yenilenebilir olmasıdır. 150 yıl öncesine kadar en önemli biyokütle enerjisi kaynağı odun olmuştur. 19. yy. da biyokütle enerjisinden yararlanma sadece odun, çalı-çırpı yakılması ile karşılanmaktaydı. Sanayi devrimi ile 20. yy. ortalarında biyokütle enerji kaynağı olarak odunun yanında şeker pancarı, mısır başta olmak üzere birçok tarımsal ürünlerden de yararlanılmıştır. Günümüzde ise biyokütle enerji kaynakları elektrik, yakıt ve ısınma ihtiyacının karşılanması noktasında gerekli modern dönüşüm teknolojilerinde gerçekleşen çevirim teknikleri yardımı ile gerçekleştirilmektedir.

2.2 Biyokütle Enerji Kaynakları

Biyokütle, bir canlı türüne ait veya ayrışık canlı türlerinden meydana gelen bir topluma mensup hayatını devam ettiren organizmaların muayyen bir zamanda sahip olduğu yekün kütle olarak ifade edilir (Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020). Biyokütle enerjisini oluşturan organik etmenler bitkisel ve hayvansal kökenli moleküllerden oluşan etmenlerdir. Bu biyokütle enerjisini oluşturan materyaller ormanlardaki ağaçlar, zirai, kentsel ve endüstriyel kökenli atıklar başta olmak üzere birçok bitkisel ve hayvansal kökenli organik yapılı bileşiklerden biyokütle enerjisi üretilmektedir (Yılmaz, 2012).

Literatürde yapılan bütün tanımlamalara bakıldığında bitkilerin fotosentez yapması neticesinde dolaylı veya doğrudan oluşan organik karbon yapısına sahip özlerin olduğu ifade edilebilir. Bitkisel ve hayvansal materyaller doğrudan oluşan biyokütle enerji kaynağı olarak örnek gösterilebilir. Biyokütle enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynakları arasında dünyada her nokada bulunabilen çok geniş bir yayılış alanı olan enerji kaynaklarıdır.

Biyokütle enerjisinin en küçük ve basit metotlarla kullanımı yemek pişirmek, evlerin sıcak su ihtiyacını karşılamak hedefiyle yakılan ateşlerdir. Ortaya çıkan klasik teknoloji yapılı biyokütle enerjisini daha etkin ve verimli bir biçimde kullabilmek için çevirim ve dönüşüm teknolojileri bulunmaktadır. Bu modern dönüşüm ve çevirim

teknolojilerinin etkin ve verimli kullanılması sonucunda hem daha fazla enerji üretimi hem de havaya bırakılacak sera gazları miktarında önemli ölçüde bir azalış ön görülmektedir.(Calle, 2007).

2.2.1. Bitkisel Kökenli Biyokütle Enerji Kaynaklar

Bitkisel kökenli biykütle enerji kaynağı materyalleri şu şekildedir;

- Yağ değeri yüksek tohumlu bitkiler (ayçiçeği, çiğit, soya, yerfıstığı,v.b.)
- Şeker değeri yüksek ve nişasta bazlı bitkiler (bakla, pirinç, şeker pancarı patates mercimek v.b.)
- Lif değeri oldukça yüksek elyaf bitkileri (pamuk, keten, kenevir, jüt, rami Hindistan cevizi v.b.)
- Biyokütle enerji kaynağı protein bitkileri (karabuğday bezelye, mercimek, kinoa v.b.)
- Bitkisel kökenli ve tarımsal biyokütle enerji potansiyeli yüksek artıklardır (saman, gübre, yaprak, ot vb.).

2.2.2. Ormanın Asil ve Yan Mamüllerinden Elde Edilen ve Orman Biyokütle Kaynakları

Odun ve odun dışı orman ürünlerinden elde edilen kaynaklardır. Bu kaynaklar ağaç ve ormanda yapılan silvikültürel işlemler sonucu ortaya çıkan atıklardır (biyokütle enerji potansiyeli yüksek ağaçlar, biyokütle enerjisi yüksek özellikle oluşturulan ormanlar ve enerji bitkileri).

2.2.3. Hayvansal Biyokütle Enerji Kaynakları

Hayvansal kökenli biyokütle enerji kaynağı mayeryalleri elektrik ve ısı ihtiyacını karşılanması noktasında oldukça önemli yer tutmaktadır. Büyükbaş hayvan dışkıları, küçükbaş hayvan dışkıları ve kümes hayvanlarının dışkıları, mezbahane atıkları vb. atıklar hayvansal kökenli biyokütle enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2022).

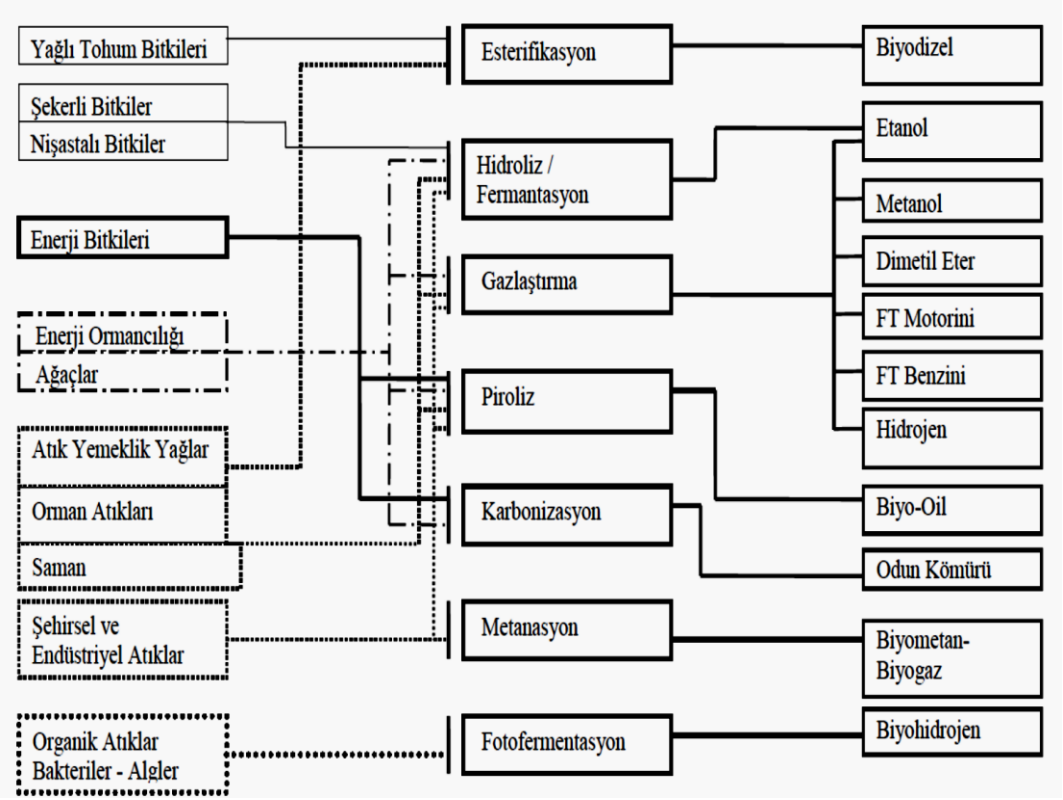
2.2.4. Biyobozunur Atıklar, Kentsel Atıklar ve Endüstriyel Atıklardan Elde Edilen Biyokütle Enerji Kaynakları

Plastikler, karışık kağıt, mukavva kanalizasyon atıkları, dip çamurları, sanayi ve gıda sanayi atıkları, makinelerden arta kalan yağlar, cüruf ve maden atıkları, belediyeye ait tesislerin atıkları ve büyük ölçekli sanayi tesislelerine ait atıklar örnek olarak gösterilebilmektedir (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2022).

2.3. Biyokütle Enerji Teknolojileri

Elektrik, ısı ve yakıt üretimi amaçlı kullanılan biyokütle, kullanım yeri ve misyonuna göre, klasik ve modern biyokütle olarak ikiye ayrılır. Klasik biyokütle, yemek pişirmek, evlerin sıcak su ihtiyacını karşılamak gibi insanın temel ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerde çok daha yaygın biyokütle enerjisi üretim yöntemidir. Modern biyokütle enerjisi gerekli dönüşüm ve çevirim teknolojileri ile daha büyük ölçekte kullanılan, ortaya çıkan enerjiyi daha etkin ve verimli kullanılmasını sağlayan biyokütle enerji üretim yöntemleridir. Bunlar orman atıkları, tarımsal atıklar, şehirsel atıklar, enerji bitkileri, endüstriyel atıklar ve biyogaz gibi biyoyakıtları kapsar. Ayrıca son zamanlarda trend olan modern biyokütle enerjisi üretim kaynaklarından birisi de uygulamalarda, odun ve atıkların yanı sıra "enerji bitkileri" olarak adlandırılan enerji üretimi misyonuyla hasat edilen bitkieri de kapsamaktadır (Ulu, 2011).

Geleneksel olarak biyoenerjiden faydalanma neredeyse insanlık tarihinin başangıcı olarak kabul edilen çağlara kadar gitmektedir. İnsanlığın ateşi bulduğu süreçten sonra ısınmak ve yemek pişirmek için biyokütle enerjisi kaynağı olan odunu kullanmışlardır. Modern biyoenerji üretimi anlamında Pers İmparatorluğunun ve Asurluların yıkanma yerlerinin ısıtılmasında biyogaz biçimimde biyokütle enerjisinden faydalandığı bilinmektedir (Akavo, 2008). Büyük Britanya'da 1800'lü yıllarda lağım gazlarının cadde ve sokakların ışıklandırılmasında değerlendirildiği belirtilmektedir (Uğurlu, 2006).



Şekil 2. Biyokütle Dönüşüm Teknolojileri (İlleez, 2020)

Biyoenerji kaynakları, biyokütle enerjisi çevirim ve dönüşüm prosesleri ve son ürün olarak elde edilen biyoyakıtlar yukarıdaki Şekil 2'de detaylı olarak belirtilmiştir. Modern dönem biyoyakıt teknolojileri ile üretilip kullanıma hazır hale getirilen bu yakıtlar arasında en geniş kapsama sahip ve ticari olanlar; biyodizel, biyogaz, biyoetanol ve odun hammaddesi kaynaklı kömürdür. Şekil 2'de görüldüğü gibi atık yağ oranı yüksek yemeklik yağlardan ve soya, ayçiçeği, çiğit gibi yağ oranı yüksek tohumlu bitkilerden esterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmektedir. Glikoz oranı yüksek bitkiler, kentsel ve endüstriyel atıklar, orman atıkları, saman, enerji bitkileri, nişasta içeriği yüksek bitkiler, enerji ormancılığı vb. biyokütle enerjisi kaynaklardan fermantasyon veya hidroliz ile biyoetanol üretilmektedir. Kentsel atıklar ve endüstriyel atıklardan ekzotermik bir reaksiyon olan metanasyon ile biyometan ve biyogaz üretilmektedir. Biyokütle enerji kaynağı olarak yetiştirilen enerji bitkileri kuvvetli asit çözeltisinden geçirilip ısının etkisini kullanarak yakma yani karbonizasyon yöntemi ile odun kömürü elde edilmektedir. Algler, biyobozunur atıklar ve bakterilerin biyohidrojen üretimi için kullanılan fotofermantasyon ile biyolojik kökenli yakıtlar elde edilebilmektedir (Fidan, 2014).

Birbirinden farklı biyoenerji kaynaklarının rutubet, kül ve göreceği ısıl işlem değerlerinin farklılık göstermesi, biyokütlenin enerjiye çevirim ve dönüşüm proseslerinde zamansal kayıplar başta olmak ürere birçok problem ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Biyoenerjinin çevirim ve dönüşümünde fiziki olarak ortaya konulan fırına sürme, fiziki form küçültme, yoğunlaştırma ve kurutma vb. işlemlerin, termokimyasal reaktör ve dönüşüm veya biyoürün oluşumu için mikrobiyal çevirim prosesleri öncesinde gerçekleştirilmesi gerçekleşen dönüşüm işlemlerinin uygulanabilirliğini kolaylaştırmaktadır.

Biyoenerjiden elde edilecek enerjinin niceliğini çoğaltmak için biyokütle kaynağından nemi büyük ölçüde kaldırma yani kurutma işlemine bazı durumlarda ihtiyaç duyulabilmektedir. Biyokütleden nemi büyük ölçüde kaldırma işlemi bulutsuz bir günde güneş ışıklarının desteği ile düşük maliyetlerle yapılabileceği gibi; çok yüksek ısıya sahip fırınlar ile endüstriyel kurutma proseslerinde çok kısa zaman diliminde, daha etkin ve verimli bir biçimde de yapılabilmektedir**.**

Biyoenerjinin yakıt formu olarak değerlendirilmesinde, pelet ve briketlerin üretilmesinde fiziki olarak form küçültme hemen hemen her zaman gereksinim duyulan bir metottur. Biyokütle enerji kaynaklarının boyutlarının küçültülmesinin depolama boyutu ve taşıma maliyetlerinin azaltılmasına da olumlu etkisi bulunmaktadır (Yılmazer, 2012).

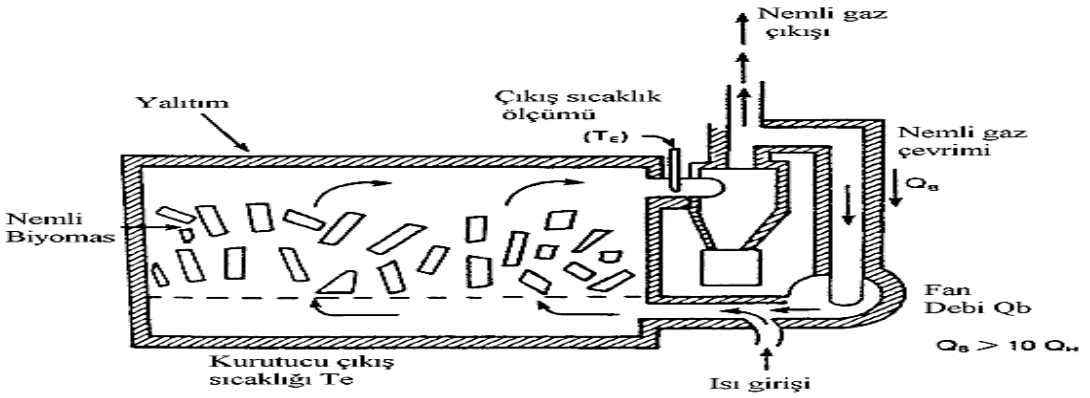
2.3.1 Biyokütle Dönüşüm İşlemleri ve Teknolojileri

Biyokütle yeryüzünde bulunan en yaygın yenilenebilir enerji kaynağıdır. Modern çevirim ve dönüşüm teknolojileri ile biyokütle ısı, elektrik ve yakıt ihtiyacını karşılama noktasında daha etkin ve verimli olarak kullanılabilir. Günümüzde biyokütle dönüşüm işlemleri ve teknolojileri ile modern biyokütle enerji üretimi anlayışına katkı sunmaktadır. Bu prosesler fiziksel prosesler, termokimyasal prosesler ve biyolojik ve kimyasal proseslerden oluşmaktadır.

2.3.1.1. Fiziksel Prosesler

Bu prosesler öğütme, kurutma, pelletleme ve biriketleme işlemlerini kapsamaktadır.

1. Kurutma: Kurutmanın temel hedefi, biyoenerji kaynağının çürümeden veya enerji değerini kaybetmeden uzunca bir zaman dilimince saklanabilir ve depolanabilir olmasına imkan sağlamaktır. Biyokütle enerji kaynağını kurutma işlemi; sıcak hava ile kurutma, güneşte ışınları ile belirli bir zaman diliminde biyokütle enerji kaynağının kurumasını bekleme ve vakum ile kurutma gibi fiziksel bir proses olarak da uygulanabilir. Endrüsriyel fırın, mikrodalga, rotari kurutma gibi modern teknolojiler ile biyokütle enerji kaynağının fiziksel olarak nemini alarak yapılan kurutma metotoları da vardır (Üçgül & Akgül, 2010).

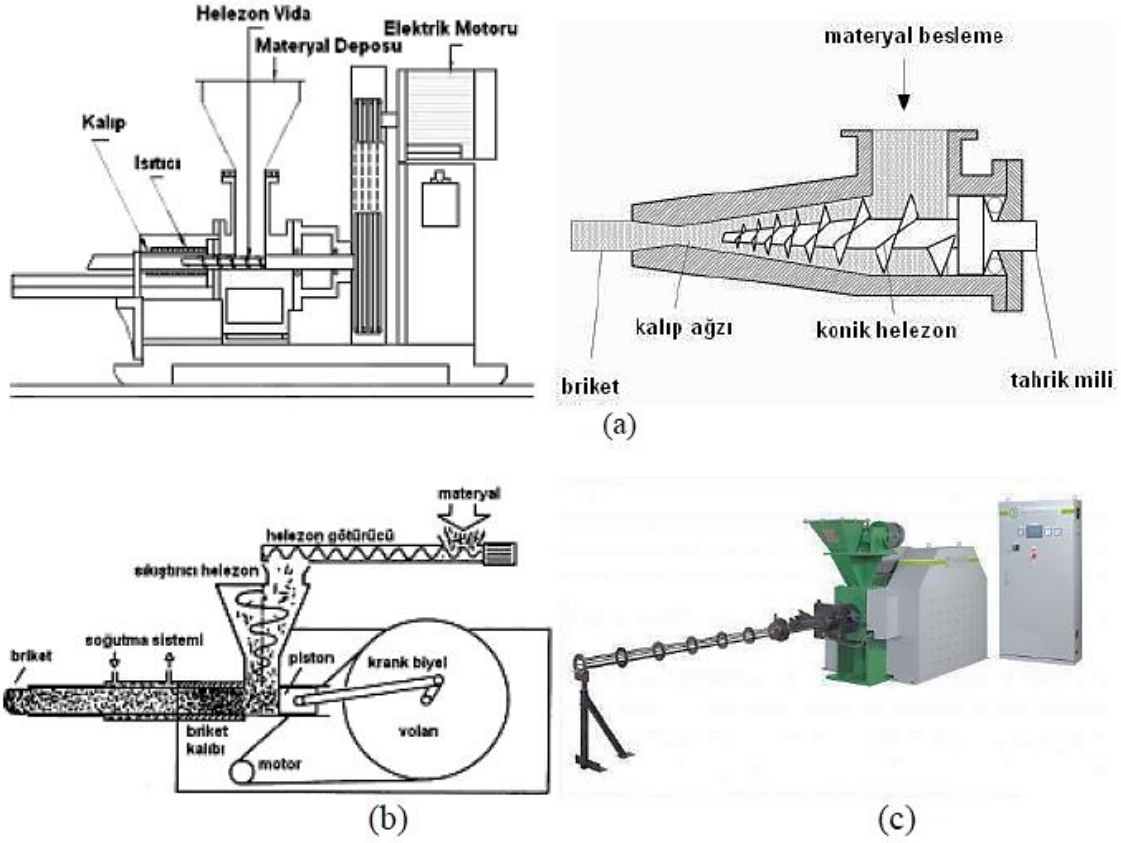


Şekil 3. Biyokütle Kurutma Sistemi (Makina Mühendisleri Odası, 1999)

Odunun gazlaştırıcı sistemde kullanılabilmesi için odun içindeki nem miktarının ayarlanması gerekir. Bu da ancak kurutma işlemi ile gerçekleşir. Enerji yoğunluğunu birim hacim başına artırmak için biriketleme işlemi yapılır. Böylece daha kolay taşıma ve stoklama sağlanır. Şekil 3'te basit bir biyokütle kurutma sistemi verilmiştir. Burada kapalı bir hacimde bulunan biyokütle parçalarının üzerine sıcak hava gönderilerek biyokütlenin kurutulması sağlanmaktadır.

2. Öğütme: Kuru biyoenerji kaynağının tanecik boyutu, kullanıldığı proses öncesinde amaçlanan şekil ve boyuta getirilene kadar miller, bıçaklar, bilyeler vb. yöntemlerle kırılarak prosese hazır hale getirilme işlemidir.

3. Pelletleme ve Biriketleme: Pellet, ormansal biyokütle enerji kaynağı olan odun artıklarının içindeki nem miktarının klasik veya modern biyokütle enerjisi yötemleri ile talaş halini alıncaya kadar kırılıp yüksek basınçla persslenmesiyle oluşturulan maddedir. Boyutları 6-10 mm arasında bir çapa sahiptir. Briket ise yine aynı uygulamalarla oluşturulan pelletten çok daha büyük boyutlarda çapa sahip maddelerdir. Boyutları 5-20 cm arasındadır. Tarım ve orman artıklarının heterojen olmaları ve boyutları itibari ile çok fazla yer kaplamaları sebebiyle doğrudan yakıt ihtiyacının karşılanması şeklinde değerlendirilmesi oldukça zordur. Bu sorun, bu tür biyoenerji kaynaklarının boyutlarının küçültülüp ve sistematik bir biçimde madde yoğunluğunun fazlalaştırılmasıyla çözülebilir. Bir başka ifade ile biriket veya pellet uygun boyut değerlerine getirilmesiyle biyokütle enerji kaynağı olarak etkin ve verimli bir biçimde kullanılmış olabilmektedir. Tarım ve orman artıklarının istenen biriket veya pellet boyutlarına piston yardımı ile yüksek basınç altında presslenmesi, bu fiziksel prosesin temel ilkesini oluşturmaktadır. Odun pelletleri direkt olarak yüksek basınca maruz bırakılarak meydana getirilir. Bu işlem sırasında kimyasal bağlayıcı kullanılmaz. Biyoenerji kaynağı içerisinde bulunan başta reçine olmak üzere kendiliğinden bulunan moleküller bağlayıcı işlevi de görmektedir. Pellet veya biriket haline dönüştürülmüş tarım ve orman artıklarından yakılarak ısınma amaçlı da faydalanılabilmektedir (Üçgül & Akgül, 2010). Yakacak oduna kıyasla odun briketi eşit ağırlıkta olacak şekilde yakıldığında çevreye daha fazla ısı veren bir kaynak oluşturmaktadır. Aynı zamanda yakacak çevreyi daha az kirletir ve daha uzun zaman dilimi boyunca yanar.



Şekil 4. Helezon (a) Ve Piston Presli (b) Ve Hidrolik (c) Briketleme Makinası (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2014)

Şekil 4'te farklı tipteki biriketleme işlemi yapan teknolojik makinalar görülmektedir. Briketleme fiziki prosesi ile; biyoenerji kaynağının karakteristik özelliklerinde olumlu yönde değişim, boyutsal ısı değerinde artış, transport ücretlerinde düşüş, saklama maliyetlerinde azalma, boyutsal olarak küçüldüğünden dolayı sobalarda rahatlıkla yakılabilme olmak üzere birçok avantaja sahiptir (Bilgin, 2008).

Yeryüzüne yayılan tanecik emisyonları azalmakta ve aynı zamanda hacimsel formu itibari ile yakıt elde edilmektedir. Yaşadığımız zaman diliminde biyoenerji kaynaklarının briketlenmesi amacıyla helezon tipi biriketleme, piston tipi biriketleme ve hidrolik tip biriketleme teknolojileri kullanılmaktadır (Bilgin, 2008).



Şekil 5. Düz Kalıplı (a) Ve Çember Kalıplı (b) Peletleme Teknolojisi (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2014)

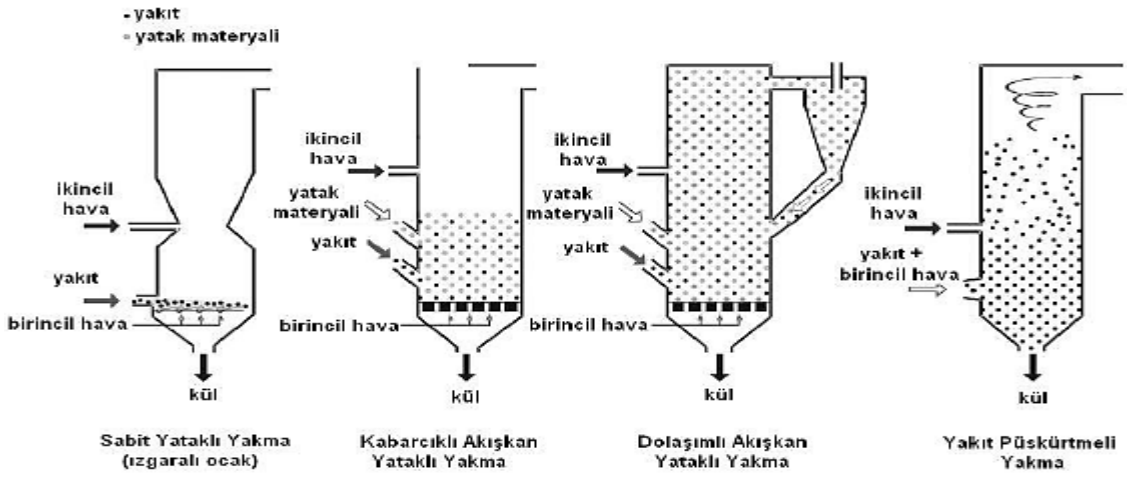
Modern peletleme teknolojileri olarak düz ve çember biçimli basınçlı peletleme teknolojisi kullanılmaktadır (Şekil 5). Düz biçimli basınçlı peletleme teknolojisinde disk üzerinde arka arkaya birden çok sıkıştırma silindiri bulunmaktadır. Bu sıkıştırma silindirleri 2 m/s ile 3 m/s hızında dönme hızına sahiptir. Diskler sayesinde biyokütle enerji materyali deliklerinde sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılan biyoenerji kaynağı istenen peletleme boyutunun şeklini almaktadır. Çember biçimli peletleme teknolojisinde delikli çemberin çevesinde 2 veya 3 tane sıkıştırme silindiri mevcuttur. Bu silindirler devamlı hareket halinde olup biyokütle enerji materyallerini istenen kalıpta sıkıştırarak elde etmiş olur (Öztürk, 2012).

2.3.1.2.Termokimyasal Prosesler

Termokimyasal proseslerin başlıcaları yakma, piroliz (torrefaksiyon, yavaş piroliz ve hızlı piroliz) ve gazlaştırma ve hidrotermal proseslerden oluşmaktadır.

1. Yakma: Biyoenerji kaynağından enerji üretmek amacıyla kullanılan en eski çevirim metodudur. Teknolojinin gelişmesi ile enerji üretmek amacıyla en eski termokimyasal proses olan yakma ısı, yakıt ve elektrik üretiminde kullanılması için uygulanan dönüşüm teknolojisidir. Termokimyasal dönüşüm teknolojisi olan yakma işlemi yüksek ısıl randıman sağlama ve etkin ve randımanlı bir yanma ile ısının geri kazandırılması başta olmak üzere birçok avantaja sahiptir. Modern yakma teknolojileri sadece ağaç kabukları gibi ormansal ve tarımsal katı biyoenerji kaynaklarının yakmanın ötesinde, kentsel atıkların ve endrüstriyel atıkların biyokütlelerininde yakılabileceği yönünde geliştirilmiştir (Yılmazer, 2012). Orman kaynaklı biyokütle enerji kaynakları, termokimyasal yakma işlemi sonucunda ortaya çıkan enerji miktarı ile petrol ve kömüre

oranla daha düşüktür. Bu sebepten dolayı ormansal biyoenerji kaynakları diğer yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları ile karıştırılarak da yakılabilmektedir. Orman kaynaklı biyokütle enerji kaynakları kömür, tarımsal ve kentsel atıklar başta olmak üzere karıştırılıp yakılarak istenen enerji değerini elde etmesi amaçlanmaktadır. Orman kaynaklarının diğer enerji kaynakları ile beraber yakma proseslerinin en temel amacı yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının oluşturduğu başta NO_x, SO_x ve CO_2 gazlarının atmosfere salınımlarını azaltmaktır.



Şekil 6. Biyokütle Enerjisi Yakma Teknolojileri (Karaca, 2009)

Sabit yataklı yakma, kabarcıklı akışkan yataklı yakma, dolaşımlı akışkan yataklı yakma ve yakıt püskürtmeli yakma prosesleri Şekil 6'da detaylı olarak gösterilmiştir. Sabit yataklı yakma teknolojileri ızgaralı ocaklar ve alttan yakıt beslemeli proseslerdir. Sabit bir yatak boşluğundan primer hava akışı sağlanmaktadır. Bu yatakta yanma, biyokütle enerji kaynağının nemini alma, ve gazlaştırma işlemleri gerçekleşmektedir. Gerçekleştirilen işlemde sonra yanma karakteristik özelliği yüksek olan gazlar sekonder hava ilave edilmesi sürecinin ardından yanma işlemi gerçekleşmiş olur. Akışkan yatak yakma termokimyasal biyokütle enerjisi teknolojilerinde biyoenerji kaynağının yakıtı, gazın kendi bileşiminin içinde ve yanma gazının dip kısımdan prosese giren katı biyokütle enerji materyali içinde yanar. Sıvılaştırma hızına göre, dolaşımlı akışkan yataklı termokimyasal biyokütle enerji teknolojisi veya kabarcıklı akışkan yataklı termokimyasal biyokütle enerji teknolojisi yakma teknolojisi uygulanmaktadır. Boyutu 2 mm'den ufak tanecikler için yakıt püskürtmeli yakma biyokütle termokimyasal enerji teknolojisi kullanılır. Yakıt bileşimi yanma odasına aktarılır. Bununla birlikte primer yanma havası da yanma odasına aktarılır. Daha sonrasında sekonder havanın ortama

girişi ile yanma işlemi gerçekleşir (Karaca, 2009). Biyokütle termokimyasal yakma işleminin ardında kalan katı atıklar yüksek sıcaklık altında eritilip bertaraf edilebilir. Yine yakma işleminin ardında kalan atıklar çimento kullanarak, çeşitli kimyasal maddeler kullanarak bertaraf edilebilir.

2. Piroliz: Piroliz (Pyrolysis) sözcüğü etimolojik olarak yunanca bir sözcük olup pyr sözcük karşılığı olarak ateş; olysis sözcüğü meydana gelmek anlamını taşımaktadır. Piroliz, biyoenerji kaynaklarının anaerobik ortamda organik moleküllerin ayrışıp gaz haline dönüştürme işlemidir. Organik maddeler anaerobik ortam koşullarında 600 °C'a kadar yapılan termal ısıtmada; odun kömürü, gaz partikülleri ve kül gibi maddeler açığa çıkar.

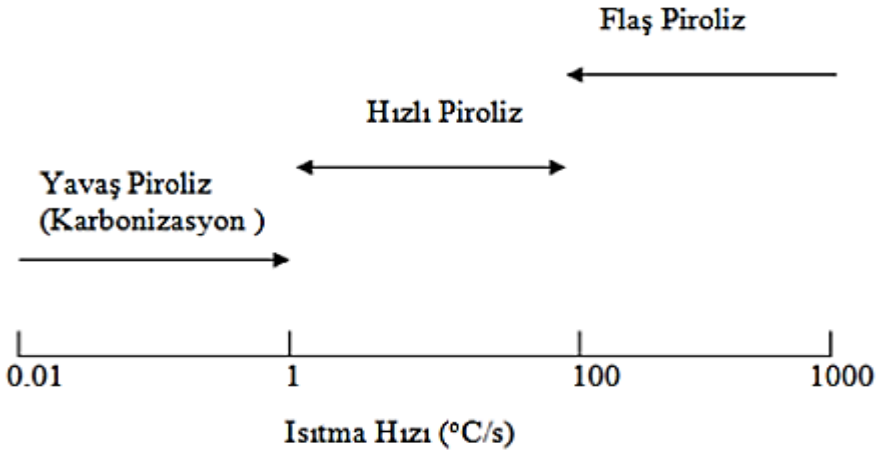


Şekil 7. Piroliz Reaktörü Ve Kurutucu Ünite (Üçgül & Akgül, 2010)

Piroliz prosesinin gerçekleştirildiği piroliz çevirim ünitesi reaktör ve kurutma ünitesinin tam donanımlı bir şekilde görünüşü Şekil 7'de verilmiştir. Odun kömürü üretimi dünya üzerinde en çok bilinen piroliz işlemidir. Piroliz işleminin neticesinde katı, sıvı ve gaz halinde maddeler elde edilir. Dünya üzerinde günümüzde piroliz işlemi ile biyoenerji kaynağı organik maddeler sıvılaştırılarak biyolojik kökenli yağlara dönüştürülmektedir.

Yakıt türü, reaksiyonun gerçekleşme zaman dilimi, sıcaklık, press, ısıtma hızı, vb. parametrelerin bir araya gelmesiyle meydana gelen ürünün niceliği ve çeşidi de etkilemektedir. Piroliz termokimyasal prosesi sonucunda meydana gelen ürünün randımanı ve kompozisyonu; sıcaklık tolerans değerleri, piroliz reaktöründe geçirilen

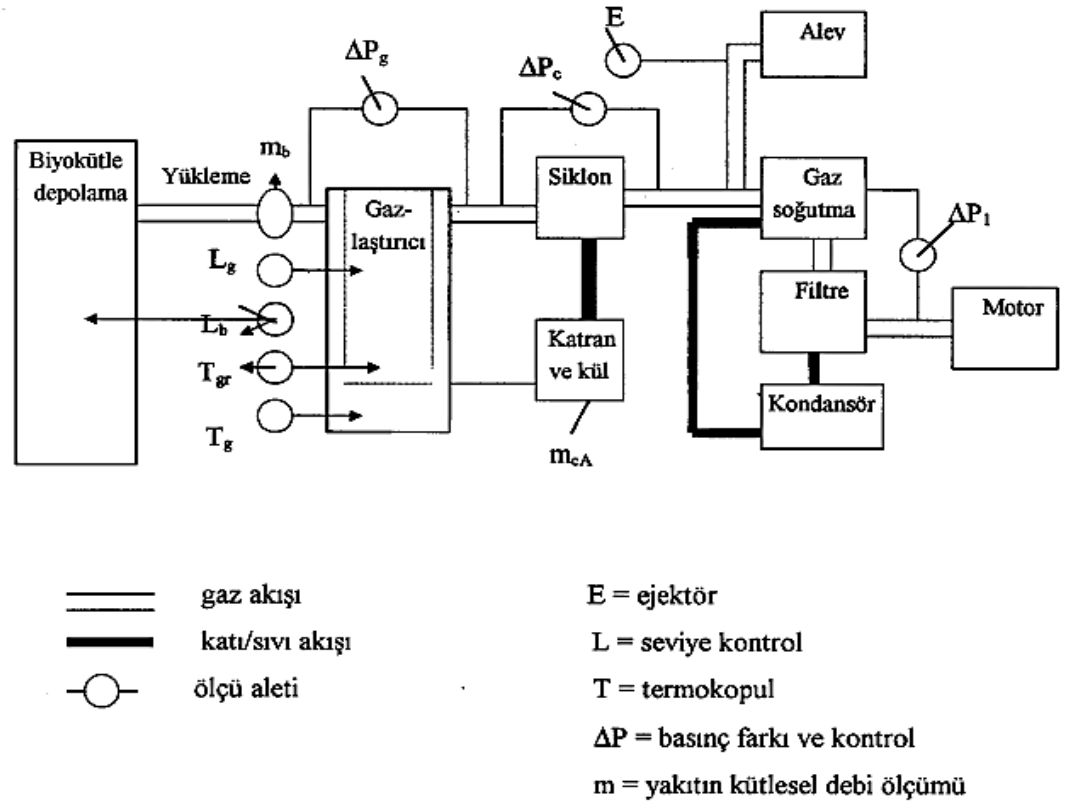
zaman dilimi, tanecik fiziksel formu, maruz kaldığı basınç gibi parametrelere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Piroliz reaktöründe düşük ısıtma hızı şartlarıda meydana gelen çar miktarı fazlalaşır. Bu proses yavaş piroliz olarak isimlendirilir. Piroliz reaktöründe ise sıvı ürün meydana gelmesi ve miktarının fazlalaşması yüksek ısıtma hızı ile doğru orantılıdır. (Ulu, 2011).



Şekil 8. Isıtma Hızına Dayalı Piroliz Çeşitleri (Ulu, 2011)

Yukarıdaki Şekil 8'de organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtma hızına bağlı olarak gerçekleştirilen karbonizasyon, hızlı piroliz ve flaş piroliz çeşitleri gösterilmektedir. Odun kömürü ve turba başta olmak üzere organik yapılı maddeler anaerobik koşullar altında ve termokimyasal biyokütle sabit yatak reaktörlerinde, 300 °C düzeyindeki ortam şartlarında, uzun ısıtma süresi boyunca yavaş piroliz yöntemiyle katı ve sıvı maddelere çevirimi gerçekleşmektedir. Akışkan yatak reaktörlerde hızlı piroliz yöntemi ile biyoenerji kaynağı, yüksek sıcaklıklarda çok hızlı bir biçimde maddenin gaz haline getirilmektedir. Meydana gelen gaz, akışkan yatak reaktörünün reaksiyon sistemi yardımı ile uzaklaştırılır. Daha sonrasında akışkan yatak reaktöründe oluşan gaz soğutulur. Isısı düşen gaz yoğuşarak yoğunluğu akışkan olmayan bir sıvı oluşturur. Bu sıvı, aldehidler, fenol, halojen ve halojenli bileşikler vb. yapıdaki maddelerce oldukça zengindir.

3. Gazlaştırma ve Hidrotermal Prosesler: Gazlaştırma çok eski dönemlerden beri kullanılan bir teknolojidir. Gazlaştırma tekniğinin biyoenerji kaynakları üzerinde uygulanması, klasik biyokütle enerjisi üretim yöntemlerine göre daha az doğaya zararlı, daha temiz ve farklı amaçlar için kullanılabilen gaz üretimi olduğu için günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Biyoenerji kaynağının termokimyasal bir proses olarak gazlaştırılması, ıslak (gübre, meyve sanayi atıkları vb.) ve kuru (nemli olmayan kütük, ağaç kabukları) biyoenerji kaynağı için uygulanan bir işlemdir. Organik madde 800–900 ºC tolerans değerindeki sıcaklıklarda gerçekleşen yüksek sıcaklıktaki bölümsel yükseltgenme tepkimesi ile yanıp maddenin gaz formuna dönmesi sağlanmaktadır. Kuru olmayan biyoenerji kaynağı en az 220 atm basınçta ve en az 300°C sıcaklıkta termokimyasal işleme tabii tutulursa gazlaşma işlemi gerçekleşmiş olur (Üçgül & Akgül, 2010) . Bu yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen kısmi oksidasyon tepkimesi sonucu büyük miktarda CO ve H_2 elde edilirken, kısmi düzeyde CH_4, CO_2 ve su buharı elde edilmektedir. Bununla birlikte hızlı piroliz termokimyasal prosesi ile üretilen kömür, gazlaştırma tekniği kullanılarak da maddenin gaz haline dönüştürülebilmektedir (Kalaycı, 2011). Böylece başta ıslak ve kuru biyoenerji kaynakları da maddenin gaz haline dönüştürülerek enerji kaynağı olarak kullanımına olanak sağlamaktadır.



Şekil 9. Gazlaştırıcı Sistem Ünitesinin Şematik Görünüşü (Makina Mühendisleri Odası, 1999)

Bir biyokütle termokimyasal prosesinin gazlaştırma işlemini gerçekleştiren bileşenler; biyoenerji kaynağının uygun ortamda saklanması, biyokütle enerji kaynağının neminin alınması, biyoenerji kaynağının gazlaştırma işleminin yapıldığı ortama aktarılması, katran ve külün gazlaştırma işleminin yapıldığı mekanizmadan alınması, gazın prosesten alınması, gazın temizlenmesi, gazın yakılması, yakıtın kütle debi miktarının değeri, basınç farkı ve kontrol ünitesi Şekil 9'da verilmiştir ve aynı zamanda komple gazlaştırıcı özelliği de taşımaktadır. Zaman zaman gaz kaçakları ve sıvı sızıntıları sebebiyle biyoenerji kaynağı materyalinin gazlaştırma işleminin yapılacağı üniteye aktarılması esnasında sorunlar oluşabilmektedir. Sanayi atıkları ve tarımsal katı yakıtların gazlaştırma işleminin yapılacağı prosese aktarımı için titreştirici, biyokütle enerji kaynaklarını birleştirici, taraklı ve dişli mekanizmalar tercih edilir. Biyoeneri kaynağı materyalin standart atmosfer basıncı koşullarında bekletilmesi ve kapalı depolarda korunması gerekmektedir. Biyokütle enerji kaynağı materyali her türlü dış faktör ve yağıştan korunması sağlanmalıdır.

10 kW'dan küçük gazlaştırıcı reaktörlerde yakıtın aktarılması el ile transfer edilebilir. Otomatik aktarılma tekniği küçük ölçekli sistemlerde uygulanmaz. 10 kW'dan büyük gazlaştırma teknolojilerinde biyo enerji kaynağı materyal, düzensiz bir aktarımla yükleme hunisinden aşağı yavaşça ilerler. Biyoenerji kaynağı organik madde yakıtı bitişik veya dikey olarak bir kayış veya dişli taşıma düzeneği ile hareket ettirilebilir

Gazlaştırma işlemi hava ile gazlaştırma, oksijen ile gazlaştırma, buhar ile gazlaştırma başta olmak üzere birçok farklı teknikte kullanılmaktadır. Hava ile gazlaştırma maliyet açısından uygun ve aynı zamanda en yaygın yöntemdir. Oksijen üretmek zorunda kalmadığı için çok yüksek çevirim verimi imkanı sunmaktadır. Reaktör tepkimesi sonucunda 4–6 MJ/Nm^3 ısıl değere sahip ürünler ortaya çıkmakadır (Saxenavd, 2008). Oksijen ile gazlaştırma hava ile gazlaştırmaya göre daha kaliteli gaz üretimi gerçekleştirmektedir. Reaktör sıcaklığında 1000–1400 ºC sıcaklığı arasında olup ısıl değeri 10–15 MJ/Nm^3 değerleri arasındadır. Pahalıdır ve güvenlik açısından büyük sorunlara da sebebiyet verebilmektedir. Buhar ile gazlaştırma işleminde ise H_2, CH_4 ve kömür başta olmak üzere reaktörden ürünler elde edilebilmektedir. Dezavantajı ise zehirlenme vakalarının yaşanmasıdır. Buharla gazlaştırmada temel hedef hidrojen elde etmektir.

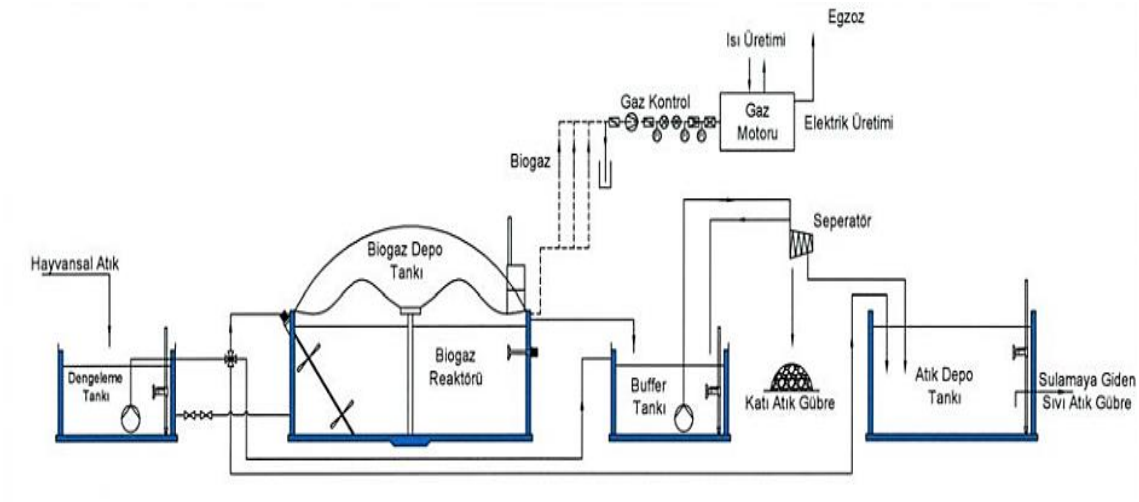
Başta çamur ve kanalizasyon atıkları olmak üzere şehirsel atıklar doğayı kirletmekte ve insan sağlığı açısından oldukça olumsuz etkilere sahiptir. Hidrotermal karbonizasyon (HTK) termokimyasal yöntemi ile 180–260 °C sıcaklık değerleri arasındaki ıslak organik katı atıkların enerjiye dönüştürülmesi, bertaraf edilmesi ve atık miktarının azaltılması gibi olumlu etkiler gösterebilmektedir. Çevirim süresi içinde alkali gibi kimyasal maddeler eklenerek pH düzenlemesi de yapılabilir. HTK prosesi aynı zamanda gübreye uygulanan termokimyasal çevirim tekniği ile biyogaz üretiminde de uygulanabilir.

2.3.1.3 Biyolojik ve Kimyasal Prosesler

Biyokütleden enerjiye çevriminde biyolojik ve kimyasal prosesler oldukça önemli yer tutmaktadır. Biyogaz ise biyolojik ve kimyasal prosesler için oldukça önemli dönüşüm kaynağı olarak yer almaktadır. Biyogaz yenilenebilir enerji kaynağıdır ve

doğalgazın yerini alabilecek en büyük potansiyele sahip biyoenerji kaynağıdır. Türkiye biyoenerji kaynağı ve organik madde açısından çok zengin potansiyele sahip bir ülkedir. Enerjide %70 dışa bağımlı olan Türkiye'nin biyogaz enerji potansiyeli doğalgaz kullanımının % 88'ine denk gelecek zengin kaynaklara sahiptir.

Biyogaz farklı biyoenerji kaynaklarından üretimi gerçekleştirilen temiz alternatif enerji kaynağıdır. Biyogaz farklı organik yapılı maddelerden veya kentsel, tarımsal, endüstriyel başta olmak üzere organik madde açısından zengin atıklardan yararlanıp enerji elde edilebilecek bir kaynak durumundadır. Organik madde ve organik atıklardan elde edilen biyogaz sadece tek bir tür gaz çeşidinden oluşmamaktadır. Oluşumunu sağlayan bu gazlar; metan, hidrojen sülfür, hidrojen karbondioksit ve azottur. Yüzdesel dağılım açısından yaklaşık değerler ise % 55-75 metan gazı, % 25-45 karbondioksit gazı, en fazla % 10 içeriğe sahip olacak şekilde hidrojen gazı, en fazla % 0,3 azot gazı ve yaklaşık değer olarak en fazla %3 hidrojen sülfür gazından oluşmaktadır (Elibol, Açıkel, & Şenol, 2017). Biyogaz üretimi sonucu oluşan elde edilen tali ürünler doğaya zarar vermemektedir ve tarım alanında kullanılabilir gübre eldesi de söz konusudur. H_2S, CO, CO_2 vb. gazlardan ayrıştırılarak üretimi gerçekleştirilen biyogaz; motor ve jeneratör desteği ile elektrik ve ısı üretimi amaçlı kullanılabilmektedir.



Şekil 10. Büyükbaş Hayvansal Atık Arıtım Biyogaz Tesisi Şeması (Tolay, Yardımcı, & Hüseyin, 2008)

Şekil 10'da büyükbaş hayvansal atıklardan arındırılıp biyogaz üretim tesisinin görünümü verilmiştir. Hayvansal atıkları biyolojik teknikle oksijensiz ortam şartlarında

ayrıştırma işlemi gerçekleştirilip, metan ağırlıklı içeriğe sahip biyogaza çevirimi gerçekleştirilir. Hayvansal atıkların oksijensiz ortamda biyogaza çevirimi gerçekleştirildikten sonra aynı biyogaz prosesinde, jeneratör ve gaz motorunda biyogazın yakılması ile elektrik veya ısı elde etmek son derece basittir. Bu teknik diğer biyokütle enerjisi kaynağı materyallerden olan tarımsal atıklara ve besin sektöründeki organik atıklara da uygulanabilir (Tolay, Yardımcı, & Hüseyin, 2008). Biyogaz üretim tesislerinin sayısı hızla artmaktadır. Bununla birlikte biyogaz üretim tesislerinde hidrojen üretimi de gerçekleştirilmektedir.

Biyodizel, bitkisel kökenli yağlardan veya hayvansal kökenli yağlardan elde edilmektedir. Üretimi sırasında insan sağlığına zararı olmayan oldukça basit bir teknik ile ayrışabilen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Diesel motorlarda doğrudan ve hiçbir problem çıkarmadan kullanılabilen fosil yakıtlara göre oldukça temiz bir yakıttır (Hidayet & Öğüt, 2005). Biyodizel; ayçiçek, pamuk yağı, fındık yağı, yerfıstığı yağı vb. bitkisel kökenli yağlardan, gıda sektöründe değerlendirilmiş yağlardan ve hayvansal kökenli yağlardan elde edilmektedir (Oğuz ve ark 2001). Biyodizel, kendi başına yakıt olarak değerlendirilebilir veya klasik olarak kullanılan dizel yakıtlarla beraber harmanlanıp yakıt olarak kullanılabilme olanağına da sahiptir. Ayrıca biyodizel uçak motorlarında jeneratörlerde ve traktörlerde de yakıt olarak kullanım imkanı sunmaktadır.

Oldukça fazla miktarda şeker barındıran biyoenerji kaynağı organik materyaller, enerji elde etmek amacıyla alkol üretimi için değerlendirilir. Alkol elde etmek amacı ile anaerobik ortam koşullarında biyoenerji kaynağına fermantasyon işlemi yapılmaktadır. Oluşan biyoetonolün konsantrasyonu arttırılır ve saflaştırılır. Fermantasyon işlemi için şekerin yanı sıra nişasta ve selüloz da kullanılmaktadır. Patates, mısır vb. bitkisel kökenli tarım ürünleri mayalama yolu ile biyoreaktör tanklarına aktarılıp melasın dahil edilmesiyle biyoetonol üretimi de gerçekleştirilir (Zeynep Güneş, 2020). Biyoetonol üretimi için gerekli olan biyoenerji kaynağı materyaller selüloz, hemiselüloz ve lignin içeriği olarak oldukça zengin yapılıdır. Biyoetanol biyoyakıtının yaygınlaştırılarak kullanılması araç egzozları ile oluşan sera gazı emisyonunun azaltılması yolunda önemli bir paya sahip olacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 3. TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA BİYOKÜTLE ENERJİSİ

Yeryüzünde enerji miktarı sınırlı olmasına rağmen enerjiye olan talep nüfus artışı ile doğru orantılı bir biçimde artmaya devam etmiştir. Yeryüzünde artan enerji ihtiyacının karşılanması, fosil yakıtların tükenme durumu, gelecek nesillerin yaşamını güvence almak amacıyla insana ve doğaya zararı en az düzeyde gerçekleşen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır. Tam da bu noktada kullanımı insanlık tarihi kadar eski çağlara dayanan, yeryüzünde yaygın bir biçimde bulunan biyokütle enerjisinin daha yaygın, etkin ve verimli kullanımı enerji ihtiyacı karşılanması noktasında çok büyük fırsatlar sunmaktadır. Biyokütle enerjisi elektrik, ısınma ve yakıt kullanımı amaçlı birçok fırsat sunmakta ve aynı zamanda atıkların bertaraf edilip enerjiye çevrilmesi noktasında fayda sağlamaktadır. Küresel ve yerel ölçekte biyokütle enerjisi potansiyeline sahip olan ülkeler, yeni biyokütle enerjisi potansiyelleri oluşturma noktasında büyük bir çaba içerisindedir.

3.1. Dünya'da Biyokütle Enerjisi

Küresel enerji talebindeki hızlı artışı karşılayabilmek amacıyla, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesinin yanı sıra, öne çıkan diğer bir başlık da fosil kaynakların kullanımının çevreye ve havaya verdiği zararları bertaraf etme konusudur. Bu nedenle, alternatif enerji kaynak arayışında ülkeler daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve çeşitliliğini artırma yönünde çalışmalar yürütmektedir. Bu kaynaklar arasında bulunan biyokütle ise, dünya genelinde en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı olup, elektik üretiminde rüzgârdan sonra ikinci sırada gelmektedir. Geçmişten günümüze kadar insanoğlunun ihtiyaç duyduğu ısınma, pişirme, hayvan besleme, elektrik üretimi ve taşıt yakıtı gibi enerji ihtiyaçlarının birçoğu biyokütle kaynaklarından karşılanmaktadır. Biyoenerji ise, bitkisel, ormansal, endüstriyel, hayvansal ve kentsel atıklar ile enerji ormanları ürünleri ve enerji bitkileri gibi her türlü organik maddenin, geleneksel yöntemlerle ya da modern teknolojiler vasıtasıyla dönüştürülmesi sonucu elde edilmektedir. Türkiye'nin enerji ihtiyacında %76'sı dış kaynaklara bağımlı olması ve biyokütle enerjisinin elektrik üretimi, ısınma ve yakıt olarak kullanılması, alternatif enerji kaynağı olması sebebiyle vazgeçilmez bir enerji kaynağıdır (Toklu, 2017).

Sürdürülebilirlik; kendi ihtiyaçlarımızı gelecek nesillerin geleceklerini gözeterek, biyoçeşitliliği koruyup ve devamlılığını sağlayarak üretim faaliyetlerini optimum seviyede sürdürmektir. Biyokütle enerjisi sera gazı salınımının ve karbon ayak izinin azaltılmasında katkı sağlaması, yenilenebilir enerji kaynağı olması ve istihdam imkanı sunması vb. nedenlerden dolayı son derece doğa dostu aynı zamanda gelecek nesillerin devamlılığını sağlayacak bir güvence niteliğindeki enerji kaynağıdır.

Biyokütle enerjisi; biyokütle enerjisi yüksek olan bitkilerin her yerde yetiştirilebilir olması, üretim ve çevrim teknolojilerinin sektörel ölçekte rahat ulaşılabilir olması, her boyutta enerji üretimi için uygun olması, düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması, depolanabilir olması, düşük ve yüksek sıcaklık aralıklarının yeterliliği, çevre kirliliği oluşturmaması, fosil yakıtlara göre sera etkisi oluşumuna daha az katkı sunması, asit yağmurlarına yol açmaması diğer enerji kaynaklarına üstün olduğu taraflarından sadece bazılarıdır. Bu bilgiler ışığında biyokütle enerji potansiyeli son derece yüksek olan Türkiye ve diğer ülkelerin biyokütle enerjisini etkin ve verimli bir şekilde kullanması bir zorunluluk haline gelmiştir.

2020 yılı itibari ile küresel ölçekte güneş enerjisi toplam elektrik kurulu gücü 707.494 MW'lık bir kapasiteye sahiptir. Küresel ölçekte açık deniz rüzgâr enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 2020 yılında 34.362 MW, karalarda esen rüzgâr enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 698.909 MW düzeyindedir. Küresel ölçekte hidroelektrik enerjiye dayalı elektrik kurulu gücü 2020 yılında 1.209.531 MW düzeyindedir. Küresel ölçekte jeotermal enerji enerjisine dayalı elektrik kurulu gücü 2020 yılında 10.050 MW düzeyinde olduğu saptanmıştır. Biyokütle enerjisi günümüzde hem geleneksel hem de modern yöntemlerle kullanılmakta olup 2020 yılı itibari ile küresel ölçekte toplam elektrik kurulu gücü 126.654 MW'a ulaşmıştır (Dorukhan & Yılmaz, 2021).

Tablo 1. 2019 Yılı Küresel Birincil Enerji Üretim, İthalat Ve İhracat İstatistikleri (IEA, 2021)

Enerji Kaynakları	Üretim (EJ)	İthalat (EJ)	İhracat (EJ)
Kömür	167,549	35,644	-37,098
Ham Petrol	190,442	102,662	-102,077
Petrol Ürünleri	-	56,858	-60,177
Doğal Gaz	143,639	42,995	-44,313
Nükleer	30,461	-	-
Hidroelektrik	15,195	-	-
Biyoyakıt ve Atıklar	56,539	1,341	-1,076
Diğer Yenilenebilir Enerji Kaynakları	13,513	2,589	-2,606
Toplam	617,338	242,089	-247,347

Uluslararası Enerji Ajansının 2021 yılında yayınladığı 2019 yılı küresel birincil enerji üretimi, ithalat ve ihracat istatistiklerine Tablo 1'de yer verilmiştir. Tablo 1'e göre 2019 yılı toplam birincil enerji kaynağı üretimi 617,338 EJ miktarına sahipken, 2019 yılı toplam birincil enerji kaynağı ithalat miktarı 242,089 EJ miktarında olmuştur. 2019 yılı toplam enerji ihracatı ise 247,338 EJ miktarında gerçekleşmiştir. 2019 yılında 30,461 EJ değerinde küresel ölçekte nükleer kaynaklı enerji üretimi gerçekleşirken hidroelektrik kaynaklı 15,195 EJ düzeyinde enerji üretimi gerçeklemiştir. Global ölçekte 2019 yılında hidroelektrik veya nükleer kaynaklı enerji ihracat ve ithalatı gerçekleşmemiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2021 yılında yayınladığı rapora göre jeotermal, güneş ve rüzgar kaynaklı enerji üretimi 13,513 EJ düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Bu kaynaklar elektrik ve ısı üretimi amaçlı kullanılmaktadır. Yine aynı raporda yenilenebilir olmayan kaynaklardan enerji üretimi 532,091 EJ olarak gerçekleştiği saptanmıştır. Yenilenebilir olmayan kaynaklardan 2019 yılında küresel ölçekte en fazla enerji üretimi 190,442 EJ ile ham petrolde gerçekleşmiştir. Yine alternatif olmayan birincil enerji kaynaklarında en fazla ithalat 102,662 EJ ile ham petrolde gerçekleşmiş olup en fazla ihracat da 102,077 EJ ile ham petrolde gerçekleşmiştir. Global ölçekte 2019 yılında yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretimi 85,247 EJ değerinde gerçekleşmiştir. 2019 yılında küresel ölçekte yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretimi biyokütle, biyoyakıt ve atıklardan sağlanmıştır. Biyokütle ve atık kökenli üretilen enerji elektrik, yakıt ve ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Biyokütle, biyoyakıt ve atıklardan üretilen enerji değeri 56,539 EJ değeri düzeyindedir. Bu değer ilgili birim dönüşümleri yapıldığında $3{,}611\times10^{8}$ MWh eşdeğer enerji miktarıdır. 2019

yılında biyokütle, biyoyakıt ve atıklardan küresel ölçekte 1,341 EJ enerji miktarı değerinde biyoenerji ithalatı gerçekleşmiştir. Bu değer ilgili birim dönüşümleri gerçekleştirildiğinde $3{,}725\times10^{8}$ MWh eşdeğer enerji miktarıdır. 2019 yılında biyokütle. biyoyakıt ve atıklardan küresel ölçekte 1,076 EJ enerji miktarı değerinde biyoenerji ithalat gerçekleşmiştir. Bu değer ilgili birim dönüşümleri yapıldığında $2{,}988\times10^{8}$ MWh eşdeğer enerji miktarıdır.

Günümüzde biyoenerji alternatif enerji kaynakları en fazla yaygın olarak kullanılan enerji kaynağı durumundadır. Doğada kendiliğinden bulunma potansiyeline sahip olan biyokütle enerjisi kaynağı materyallerden yılda ortalama 150 milyar ton biyoenerji üretilmekte olduğu tahmin edilmektedir. Günümüzde üretilen bu 150 milyar ton biyokütle enerji miktarının sadece %10'u ticari faaliyetler kapsamında kullanılmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre günümüzde yemek pişirme başta olmak üzere geleneksel biyokütle enerjisi dönüşüm metotlarını uygulayarak 2,5 milyar insan enerji ihtiyacını biyokütleden karşılamaktadır. Günümüzde klasik biyokütle enerjisi çevirim yöntemi ile enerji ihtiyacının karşılanabileceğini düşünen küresel ölçekte 2,7 milyar insan olduğu tahmin edilmektedir. Gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ile 2030 yılında geleneksel biyokütle enerji çevirim yönteminden enerji üretimine güvenen insan sayısının 2,8 milyar kişi olacağı ön görülmektedir. Geleneksel biyokütle enerjisi çevirim yöntemi ile ısı enerjisi elde edilmesinden dolayı kapalı mekanlarda hava kirliliği sebebi ile 2030 senesinde yılda yaklaşık olarak 1,5 milyondan fazla insanın hayatını kaybedebileceği ön görülmektedir (Toklu, 2017). Aynı zamanda dolaylı olarak günde 4000'den fazla erken ölüme yol açacağı tahmin edilmektedir. Bu durum sıtma ve tüberkülozdan kaynaklanan erken insan ölümlerinin tahminlerinden daha fazladır (Toklu, 2017).

Tablo 2. Dünya Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi (MTEP) (Dorukhan & Yılmaz, 2021)

	1980		2000		2018		2035	
Kaynak Türü	**MTEP**	**%**	**MTEP**	**%**	**MTEP**	**%**	**MTEP**	**%**
Petrol	3107	43	3649	36,4	4501	31,4	5053	27,1
Kömür	1788	24,8	2295	22,9	3821	26,7	5523	29,6
Doğalgaz	1235	17	2088	20,8	3273	22,9	4380	23,5
Nükleer	186	2,6	675	6,7	709	5	1019	5,5
Hidrolik	148	2,1	225	2,3	361	2,5	460	2,5
Biyokütle	748	10,4	1045	10,4	1357	9,5	1741	9,3
Diğer Yenilenebilir	12	0,1	55	0,5	293	2	501	2,7
Toplam	7224	100	10034	100	14315	100	18676	100

Tablo 2'de dünya birincil enerji kaynakları tüketimi ton eşdeğer petrol cinsinden ifade edilmiştir. Küresel ölçekte 1980 yılında dünya birincil enerji kaynakları toplam enerji tüketimi 7224 MTEP'dir. Küresel ölçekte biyoenerji birincil enerji kaynakları tüketimi 748 MTEP düzeyinde olup %10,4'lük bir paya sahiptir. Küresel ölçekte 2000 yılındaki veriler incelendiğinde dünya birincil enerji kaynakları toplam enerji tüketimi 10034 MTEP miktarındadır. Küresel ölçekte biyoenerji kaynakları tüketimi 1045 MTEP düzeyinde olup yine %10,4'lük bir paya sahiptir. Tablo 3.1'deki veriler ışığında küresel ölçekte 2018 yılındaki veriler incelendiğinde dünya birincil enerji kaynakları toplam enerji tüketimi 14315 MTEP'dir. Küresel ölçekte biyokütle enerji kaynakları tüketimi 1045 MTEP düzeyinde olup yine %9,5'lik bir paya sahiptir. 2000 yılında küresel boyutta birincil enerji kaynakları içerisinde biyokütle enerjisi tüketim payı %10,4'lük düzeydeyken 2018 yılında %9,5'lik paya gerilediği görülmüştür. Bu durumun temel sebebi modern biyokütle enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji yatırım ve teknolojilerinde olan gelişmeler ve aynı zamanda küresel ısınma ve iklim değişikliklerinin getirdiği sonuçlar olarak gösterilebilir. 2035 yılı için küresel ölçekte tahminler doğrultusunda dünya birincil enerji kaynakları toplam enerji tüketimi 18676 MTEP olacağı ön görülmektedir. Küresel ölçekte biyokütle enerji kaynakları tüketimi ise 2035 yılında 1741 MTEP düzeyinde olup yine %9,3'lük bir paya sahip olacağı ön görülmektedir.

Tablo 3. Dünyada Yenilenebilir Enerji Türlerinin İstihdam Sayıları (Güllü & Kartal, 2021)

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Kişi Sayısı (Adet)
Güneş (PV)	3.605.000
Sıvı Biyoyakıtlar	2.063.000
Hidrolik	2.054.000
Rüzgar	1.160.000
Güneş (Isıtma-Soğutma)	801.000
Katı Biyokütle	787.000
Biyogaz	334.000
Jeotermal	94.000
Endüstriyle Atık, Atık Isı	41.000
Güneş (CSP)	34.000
Gelgit, Dalga ve Okyanus Enerjisi	1.000

Tablo 3'te küresel ölçekte yenilenebilir enerji türlerinin istihdam sayıları belirtilmiştir. Tablo 3'teki veriler incelendiğinde üç milyon altı yüz beş bin kişi fotovolvoik güneş enerjisi kökenli santral ve tesislerde çalışmaktadır. En fazla istihdam edilen yenilenebilir enerji kaynağı fotovolvoik güneş enerjisi tesis ve santralleridir. Küresel ölçekte yenilenebilir enerji türlerinde en az istihdam gelgit, dalga ve okyanus enerjisine bağlı işletmelerde bin kişi ile sınırlı kalmıştır. Küresel ölçekte sıvı biyo yakıt kökenli işletme, tesis ve santraller ise istihdam bakımından iki milyon altmış üç bin kişi sayısı ile ikinci sırada yer almaktadır. Küresel ölçekte alternatif enerji türleri arasında en fazla üçüncü sırada istihdam edilen kişi sayısı hidroelektrik enerjisine bağlı işletme, tesis ve santrallerde olduğu gözlemlenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyoenerji kökenli olan sıvı biyoyakıt, katı biyokütle, biyogaz ve endüstriyle atık ve atık ısı santral, tesis ve işletmelerde doğrudan veya dolaylı olarak çalışan toplamda üç milyon iki yüz yirmi beş bin kişi olduğu öngörülebilir.

AB, biyoyakıt üretimini biyorafineri kavramıyla kimya sanayisi ile entegre etme girişimindedir. 2006 yılında yayımlanan Vizyon 2030 belgesinde AB'de biyoyakıt kullanımı ve üretiminin artırılması, pazar payının yükseltilmesi, araştırma geliştirme çalışmalarına önem verilmesi, vizyon ve strateji çerçevesi oluşturulması konularında açıklamalar bulunmaktadır. 2011 yılında yılında AB tarafından yayınlanan "2050 Yılının Yakıtları" raporunda biyokütle enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kara, deniz ve hava ulaşımında akaryakıt olarak tüketiminin oldukça yaygın olarak kullanılacağı öngörülmüştür. AB'nin Vizyon 2030 dökümanında bahedildiği üzere 2030

yılında % 25 oranında biyoyakıt kullanımı öngörülmektedir. Ayrıca yine aynı dökümanda 2010'dan itibaren ikinci kuşak biyoyakıt üretiminin ticarileşmesi ve bu sürecin 2020'de tamamlanıp biyorafinerilere geçilerek, 2030–2050 döneminde de entegre biyorafinerilerin yaygınlaştırılması hedeflenmektedir (Kaputhan, 2014).

Biyokütle enerjisi elektrik, ısı ve yakıt üretimi amaçlı kullanılan bitkisel kökenli, tarımsal kökenli, ormansal kökenli, hayvansal kökenli, endüstriyel atıklar ve kentsel atıklar ile enerji ormanları ürünleri ve enerji bitkileri kullanım misyonuna göre, klasik ve modern çevirim yöntemleri ile enerjiye dönüştürülmektedir. Biyokütle enerjisi kaynağını oluşturan materyaller iklim başta olmak üzere birçok çevresel parametreden etkilenmektedir. Bu sebepten dolayı yıllara göre biyokütleden elektrik, ısı ve yakıt üreten materyal miktarları arasında farklılık görülebilmektedir (Berg, Apostolou, & Enevoldsen, 2021).

Tablo 4. Biyoenerji Arzının Küresel Potansiyeline Genel Bakış (Toklu, 2017)

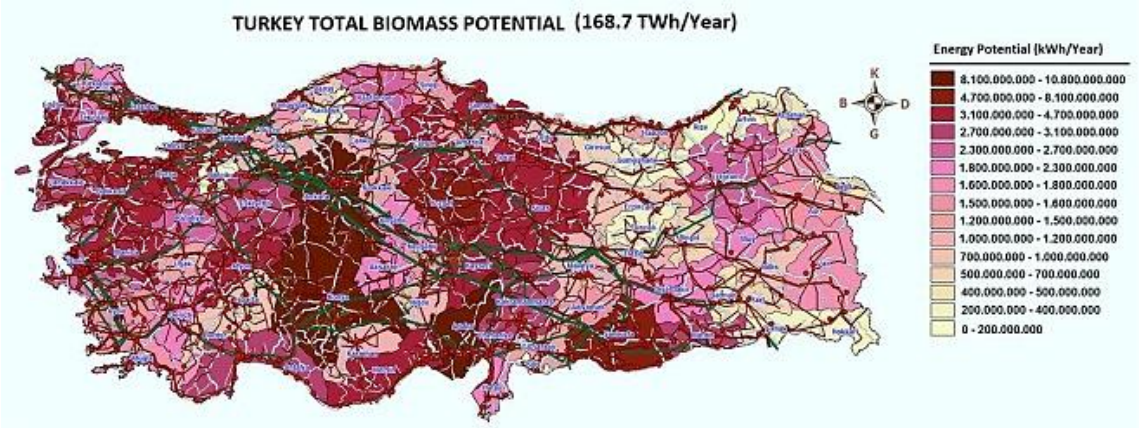
Biyokütle Kategorisi	**2050'de teknik potansiyel (EJ/yıl)**
Fazla tarım arazisi üzerinde enerji mahsulü üretimi	0–700
Marjinal arazide enerji mahsulü üretimi	60–110
Tarımsal kalıntılar	15–70
Orman kalıntıları	30–150
Gübre	5-55
Organik atıklar	5-50
Toplam	60–1100

Tablo 4'te 2050 yılına ait biyoenerji arzının küresel teknik potansiyeline ait öngörüler, biyokütle enerjisini oluşturan materyallerin türüne göre değerlendirilmiştir. 2050 yılına ait biyokütle enerjisi teknik potansiyeline ait veriler iklim, biyokütle enerjisine dönüştürülecek çevresel ve endüstriyel atık miktarı, biyokütle materyalinin enerjiye çevrileceği dönüşüm teknolojisinin durumu başta olmak üzere birçok etkene bağlı olarak üretilen elektrik, ısı ve yakıt miktarlarında da farklılık göstereceği öngörülebilir. Fazla tarım arazisi üzerinde enerji mahsulü miktarı, marjinal arazide enerji mahsulü miktarı, tarımsal kalıntıların miktarı, ormansal kökenli kalıntı miktarı, gübre ve organik atıkların 2050 yılındaki biyokütle enerjisi teknik potansiyeli 60 EJ ile 1100 EJ değerleri arasındadır. Bu değerler ilgili birim dönüşümleri yapıldığında 2050 yılındaki biyokütle enerjisi teknik potansiyeli minimum $1{,}666\times10^{10}$ MWh ve maksimum $3{,}055\times10^{11}$ MWh eşdeğerinde olduğu saptanmıştır. Fazla tarım arazisi

üzerindeki enerji mahsulü üretimi için 2050 yılındaki biyokütle enerjisi teknik potansiyeli; iklim, nüfus miktarı ve kullanılabilir tarımsal alan miktarı başta olmak üzere birçok parametreye bağlı olup minimum 0 EJ ve maksimum 700 EJ değerleri arasında olduğu öngörülmüştür. Bu değerler ilgili birim dönüşümleri yapıldığında fazla tarım arazisi üzerindeki enerji mahsulü üretiminin, 2050 yılı küresel biyokütle enerjisi potansiyeli minimum 0 MWh ve maksimum $1{,}944\times10^{11}$ MWh eşdeğer miktarına sahip olacaktır. Marjinal arazide enerji mahsulü üretiminin 2050 yılındaki biyokütle enerjisi teknik potansiyeli 60 EJ ile 110 EJ değer aralığındadır. Bu değerler ilgili birim dönüşümleri yapıldığında $1{,}666\times10^{10}$ MWh ile $3{,}055\times10^{10}$ MWh değerleri ile eşdeğer olduğu saptanmıştır. Tarımsal kalıntıların ise 2050 yılındaki biyokütle enerjisi teknik potansiyeli 15 EJ ile 70 EJ değer aralığındadır. Bu değerler ilgili birim dönüşümleri yapıldığında $4{,}166\times10^{9}$ MWh ile $1{,}944\times10^{10}$ MWh değerleri ile eşdeğerdir. Yine Tablo 3.4'deki veriler incelendiğinde orman kalıntıları, gübre ve organik atıkların 2050 yılındaki toplam biyokütle enerjisi teknik potansiyeli 40 EJ ile 255 EJ değer aralığındadır. Bu değerler ilgili birim dönüşümleri yapıldığında $1{,}111\times10^{10}$ MWh ile $7{,}083\times10^{10}$ MWh değerleri ile eşdeğerdir.

3.2. Türkiye'de Biyokütle Enerjisi

Türkiye Avrupa, Asya ve Afrika kıtalarının kesişim noktasında bulunmakta ve bu kıtalar arasında doğal bir köprü görevi görmektedir. Türkiye aynı zamanda Ortadoğu ve Kafkasya'daki yenilenemeyen enerji kaynaklarına yakın bir jeopolitik konumdadır. Türkiye dört mevsimi belirgin bir şekilde yaşayan, başta bitkisel olmak üzere biyoçeşitlilik açısından zengin kaynaklara sahip, Akdeniz iklimi, Karadeniz iklimi ve karasal iklimin hüküm sürdüğü zengin biyokütle enerji kaynaklarına sahip bir ülkedir. Türkiye gelişmekte olan ülke statüsünde olup 2021 yılı itabiriyle yaklaşık 84 milyon nüfusa sahiptir. Türkiye nüfusu itibari ile biyoenerji kaynağı olabilecek kentsel ve endüstriyel atık miktarı açısından zengin bir ülkedir.



Şekil 11. Türkiye'nin Biyokütle Enerjisi (Demirbaş, 2008)

Türkiye'nin biyokütle enerjisi potansiyeli Şekil 11'de ayrıntılı olarak harita üzerinde belirtilmiştir. Türkiye'nin adeta tahıl ambarı özelliği taşıyan İç Anadolu bölgesi, tarımsal ürün çeşitliliği ve miktarı, hayvansal biyokütle enerjisi materyali bakımından oldukça zengindir. Doğu Anadolu bölgesi, Karadeniz bölgesinin doğusu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinin güneydoğu kısmı biyokütle enerji potansiyeli açısından diğer bölgelere göre daha az miktarda enerji potansiyeline sahiptir. Bunun başlıca sebepleri yükseltinin fazla olması, engebeli arazi yapısına sahip olması ve yaşayan nüfus miktarıdır. Türkiye'nin iç Anadolu bölgesinde yıllık biyokütle enerji potansiyeli 8 milyar kW'a kadar ulaşmasına rağmen biyokütle enerji potansiyeli daha düşük olan batı bölgelerinde biyokütle enerjisinden enerji üretim miktarı ve santrallerin kurulu gücü daha fazladır. Türkiye'de biyokütle enerjisi potansiyelinin verimli ve etkin kullanılamamasının nedeni olarak ulaşım ve altyapı eksiklikleri, anız yakımları, hayvancılığın ve tarımın küçük işletmeler halinde yapılması, tesislerinin yetersizliği, yenilikçi ve dönüşüm teknolojisi yetersizlikleri, geç atılmış hukuki düzenleme ve teşvik adımları gösterilebilmektedir (İlleez, 2020).

Çeşitli kaynaklarda Türkiye'nin biyokütle enerjisi potansiyeli 14 MTEP ile 32 MTEP arasında olduğu belirtilmiştir. Bu farklılığın sebebi biyokütle enerjisi potansiyelini hesaplama yönteminin farklılık göstermesi ve biyokütle enerjisi potansiyeli görülebilecek materyal seçimindeki farklılıklar başta gelen nedenler arasındadır. Türkiye'nin toplam biyoenerji potansiyeli yıllık 16,9 MTEP olarak hesaplamıştır (Kaygusuz, 2002). Demirbaş ise, Türkiye'nin yıllık biyokütle enerji potansiyelini, yıllık ürünler, çok yıllık bitkiler, orman artıkları, tarımsal sanayi artıkları,

ağaç sanayisi artıkları, hayvansal atıklar ve diğer biyokütle kaynakları dahil olmak üzere 32,0 MTEP olarak tahmin etmiştir (Demirbaş, 2008). Türkiye'nin toplam tarımsal atık bazlı biyokütle enerji potansiyeli yılda 7,2 MTEP olduğu ayrıca Türkiye'nin toplam orman atığı bazlı biyokütle enerji potansiyelinin de yılda 1,5 MTEP olduğu tahmin edilmektedir (Melikoglu, 2017). Türkiye'nin biyogaz potansiyelinin yaklaşık %85'i hayvan gübresinden ve geri kalanı çöp gazından elde edilmektedir. Türkiye'de sadece hayvan gübresi ele alındığında anaerobik ortamda yapılan mayalanma ile yıllık yaklaşık 1-2 milyon tona karşılık gelen biyogaz üretimi yapılabilme potansiyeli bulunmaktadır (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2022).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Aralık 2021 itibari ile Türkiye'nin Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası'nda yayınladığı verilere göre Türkiye'nin bitkisel atıklarının toplam ekonomik enerji eşdeğeri 1.462.159 TEP/yıl, hayvansal atıkların ekonomik enerji eşdeğeri 1.084.506 TEP/yıl, belediye atıklarının ekonomik enerji eşdeğerleri 485.858 TEP/yıl, orman varlığı artıklarının toplam enerji eşdeğeri 859.899 TEP/yıl olarak belirlenmiştir. Türkiye'nin bitkisel, hayvansal, ormansal, belediye kökenli biyokütle enerjisi ekonomik olarak yıllık toplam 3.892.422 TEP/yıl enerji eşdeğerindedir (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2020). Türkiye'nin Belediye, bitkisel, ormansal, hayvansal, tarımsal ve diğer bütün atıkların toplam enerji eşdeğeri 34.002.549 TEP/yıl'dır. Türkiye'de Aralık 2021 yılı itibari ile biyodizel işleme lisansı sahibi firma sayısı sekiz tane olup biyoetanol işleme lisansı sahibi firma sayısı 5 tanedir. Türkiye'de biyokütle kaynaklı elektrik üretim santral sayısı 199 adettir.

Tablo 5. Türkiye'nin Hayvansal Biyokütle Enerjisi Varlığı

Hayvan Sayısı (adet)	422.832.374
Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	17.497.113
Küçükbaş Hayvan Sayısı (adet)	46.117.399
Kanatlı Hayvan Sayısı (adet)	359.217.862
Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl)	193.878.079
Büyükbaş Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl):	134.150.417
Küçükbaş Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl):	46.511.866
Kanatlı Hayvansal Atık Miktarı (ton/yıl)	13.215.796
Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	4.385.371
Büyükbaş Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	975.180
Küçükbaş Hayvansal Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	105.648
Kanatlı Hayvanların Atıkların Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	3.304.544
Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	1.084.506
Büyükbaş Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	273.050
Küçükbaş Hayvansal: Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	8.452
Kanatlı Hayvansal Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl):	803.004

Türkiye'nin hayvansal biyokütle enerjisi varlığı ayrıntılı bir biçimde Tablo 5'te verilmiştir. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı'na bağlı Enerji Genel Müdürlüğü'nün Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası'nın Aralık 2021 verilerine göre Türkiye'de büyükbaş hayvan sayısı 17.497.113 adet, küçükbaş hayvan sayısı 46.117.399 adet, kanatlı hayvan sayısı 359.217.862 adettir. Türkiye'de her ne kadar manda, yerli sığır, melez sığır, kültür sığırı, koyun, keçi, tavuk, hindi, kaz başta olmak üzere on altı farklı türde hayvan yetiştiriciliği yapılsa da biyokütle enerji potansiyeline en büyük katkıyı sağlayan sayıları küçükbaş hayvan sayısı ve kanatlı hayvan sayısına göre daha az sayıda bulunan büyükbaş hayvan sığır türü olan yerli sığır ve kültür sığırı türleridir. Türkiye'de günümüzde yetiştirilen hayvan türlerine bağlı enerji potansiyelleri yerli sığır için 68.4269,66 MWh/yıl değerinde olduğu saptanmıştır. Türkiye'de günümüzde yetiştirilen hayvan türlerine bağlı enerji potansiyelleri kültür sığırları için ise 6.502.552,8 MWh/yıl değerinde olduğu saptanmıştır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2014). Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası'nın Aralık 2021 verilerine göre Türkiye'de toplam hayvansal atık miktarı 193.878.079 ton/yıl değerindedir. Büyükbaş hayvansal atık miktarı 134.150.417 ton/yıl, küçükbaş hayvansal atık miktarı 46.511.866 ton/yıl, kanatlı hayvansal atık miktarı 13.215.796 ton/yıl olduğu öngörülmüştür.

Hayvansal kaynaklı biyokütle teorik ve ekonomik enerji potansiyel hesaplamasında üç önemli faktör vardır. Bu parametreler hayvansal biyokütle enerjisi materyalinin üretim miktarı, hayvan başına atık miktarı ve birim atık başına düşen enerji miktarıdır. Hayvansal kaynaklı biyokütle teorik ve ekonomik enerji potansiyel hesaplamasında hayvansal biyokütle enerjisi materyalinin üretim miktarı, hayvan başına atık miktarı ve birim atık başına düşen enerji miktarının hepsinin çarpımı ile hayvansal biyokütle enerji potansiyeli bulunmaktadır. Buna göre hayvansal atıkların toplam teorik enerji eşdeğeri 4.385.371 TEP/yıl düzeyindedir. Türkiye'de büyükbaş hayvansal atıkların teorik enerji eşdeğeri 975.180 TEP/yıl, küçükbaş hayvansal atıkların toplam teorik enerji eşdeğeri 105.648 TEP/yıl, kanatlı hayvanların atıkların toplam teorik enerji eşdeğeri 3.304.544 TEP/yıl olarak belirlenmiştir. Türkiye'de hayvansal atıkların ekonomik enerji eşdeğeri 1.084.506 TEP/yıl'dır. Büyükbaş hayvansal atıkların ekonomik enerji eşdeğeri 273.050 TEP/yıl, küçükbaş hayvansal atıkların ekonomik enerji eşdeğeri 8.452 TEP/yıl, kanatlı hayvansal atıkların ekonomik enerji eşdeğeri 803.004 TEP/yıl olarak saptanmıştır.

Tablo 6. Türkiye'nin Bitkisel Biyokütle Enerjisi Varlığı

Bitkisel Toplam Üretim Miktarı (ton/yıl)	171.399.002
Tarla Bitkileri Toplam Bitkisel Üretim Miktarı (ton/yıl)	119.007.069
Bahçe Bitkileri Toplam Bitkisel Üretim Miktarı (ton/yıl)	22.359.106
Sebze Bitkileri Toplam Bitkisel Üretim Miktarı (ton/yıl)	30.032.827
Bitkisel Atık Miktarı (ton/yıl)	62.206.754
Tarla Bitkileri Toplam Bitkisel Atık Miktarı (ton/yıl)	46.279.245
Bahçe Bitkileri Toplam Bitkisel Atık Miktarı (ton/yıl)	4.038.114
Sebze Bitkileri Toplam Bitkisel(ton/yıl)	11.889.396
Bitkisel Atıkların Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	25.384.268
Tarla Bitkileri Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	19.480.866
Bahçe Bitkileri Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	1.754.031
Sebze Bitkileri Toplam Teorik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	4.149.370
Bitkisel Atıkların Toplam Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	1.462.159
Tarla Bitkileri Toplam Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	1.225.364
Bahçe Bitkileri Toplam Ekonomik Enerji Eşdeğeri (TEP/yıl)	236.794

Türkiye'nin bitkisel biyokütle enerjisi varlığına detaylı bir biçimde Tablo 6'da yer verilmiştir. Biyokütle enerjisi kaynağı materyali olarak yağlı tohumlu bitkiler, şeker ve nişasta bitkileri, elyaf bitkileri, protein bitkileri, bitkisel ve tarımsal artıklar başta gelmektedir (Aktaş, Özer, Soyak, & Ertürk, 2015). Türkiye'de buğday, arpa ve yulaf

başta olmak üzere tahıllardan elde edilen bitkisel biyoenerji kalıntıları genellikle büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanları beslemek ve yaşam koşullarını iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bitkilerin budanması ile elde edilen biyokütle enerji kaynağı materyaller toz haline getirilerek hayvanların yaşamlarını sürdürdükleri ahırların, ağılların ve kümeslerin ısıtılması veya ısı izolasyonu malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Türkiye'de başta buğday sapı, arpa, kenevir ve fındık kabuğu olmak üzere bunlar farklı tarımsal kökenli biyokütle enerjisi kaynağı kalıntıları arasında yer almaktadır. Türkiye'de senede $2{,}6\times10^7$ ton buğday sapı anız yakımları veya toprak sürümü yapılarak biyokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilememektedir. Buğday sapının en yüksek ısıl değeri 14 MJ/kg olduğu ön görülmektedir. En yüksek verimli kömürün en yüksek ısıl değeri 28 MJ/kg sahip olduğu düşünüldüğünde buğday sapının önemi ortaya koyulabilmektedir. Türkiye yıllık olarak yaklaşık $1{,}3\times10^7$ ton değerinde kömüre eş enerji kullanılamamasına neden olmaktadır (Balat, 2005). Bitkisel biyokütle enerji kaynağı olan fındık kabuğunun en yüksek ısıl değeri 19,2 MJ/kg olup buğday sapına benzer durum fındık kabuğu için de geçerli olduğu ön görülmektedir (Balat, 2005).

Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası'nın Aralık 2021 verilerine göre Türkiye'de bitkisel toplam üretim miktarı 171.399.002 ton/yıl'dır. Tarla bitkileri toplam bitkisel üretim miktarı 119.007.069 ton/yıl, bahçe bitkileri toplam bitkisel üretim miktarı 22.359.106 ton/yıl, sebze bitkileri toplam bitkisel üretim miktarı 30.032.827 ton/yıl olarak belirlenmiştir. Toplam bitkisel atık miktarı 62.206.754 ton/yıl'dır. Tarla bitkileri toplam bitkisel atık miktarı 46.279.245 ton/yıl, bahçe bitkileri toplam bitkisel atık miktarı 4.038.114 ton/yıl, sebze bitkileri toplam bitkisel 11.889.396 ton/yıl olduğu saptanmıştır. Bitkisel atıkların toplam teorik enerji eşdeğeri 25.384.268 TEP/yıl enerji değerine sahiptir. Tarla bitkileri toplam teorik enerji eşdeğeri 19.480.866 TEP/yıl, bahçe bitkileri toplam teorik enerji eşdeğeri 1.754.031 TEP/yıl, sebze bitkileri toplam teorik enerji eşdeğeri ise 4.149.370 TEP/yıl olduğu belirlenmiştir. Türkiye'nin bitkisel atıkların toplam ekonomik enerji eşdeğeri 1.462.159 TEP/yıl'dır. Türkiye'nin tarla bitkileri toplam ekonomik enerji eşdeğeri 1.225.364 TEP/yıl, bahçe bitkileri toplam ekonomik enerji eşdeğeri 236.794 TEP/yıl olduğu öngörülmüştür.

5346 Kanun Numarası Yenilenebilir Enerji Kaynakları'nın Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunun 3. maddesine göre ithal etmemek şartı ile 'belediye atıklarının (çöp gazı dâhil) yanı sıra bitkisel yağ atıkları, gıda ve yem değeri olmayan tarımsal atıkları, endüstriyel odun dışındaki orman ürünleri ile atık lastiklerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan yan ürünlerden elde edilen kaynakları ve sanayi atık çamurları ile arıtma çamurlarını' ısı, elektrik ve yakıt olarak kullanımını amaçlayarak biyokütleden enerji üretimini verimli, etkin ve yaygın kullanılmasını sağlamıştır (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2005).

Tablo 7. Türkiye'nin Belediye Kökenli Biyokütle Enerjisi Varlığı

Belediye Atıkları Miktarı (ton/yıl)	32.170.975
Belediye Atıkların Teorik Enerji Eşdeğerleri (TEP/yıl)	3.373.011
Belediye Atıkların Ekonomik Enerji Eşdeğerleri (TEP/yıl)	485.858

Türkiye'nin belediye kökenli biyokütle enerjisi varlığı Tablo 7'de yer verilmiştir. Türkiye'nin belediye atıklarının toplam miktarı 32.170.975 ton/yıl'dır. Biyometanizasyona uygun toplam belediye atıkları miktarı 14.476.939 ton/yıl, yakmaya uygun olan toplam belediye atıkları miktarı 17.694.036 ton/yıl'dır. Belediye atıklarının toplam teorik enerji eşdeğerleri 3.373.011 TEP/yıl'dır. Biyometanizasyona uygun belediye atıklarının toplam teorik enerji eşdeğeri 466.881 TEP/yıl olup, yakmaya uygun belediye atıklarının toplam teorik enerji eş değeri 2.906.130 TEP/yıl'dır. Belediye atıklarının toplam ekonomik enerji eşdeğerleri 485.858 TEP/yıl değerindedir. Biyometanizasyona bağlı belediye atıklarının toplam ekonomik enerji miktarı 93.396 TEP/yıl eşdeğerlerinde olup, yakmaya bağlı belediye atıklarının toplam ekonomik enerji miktarı 392.462 TEP/yıl eşdeğerindedir. Günümüzde Türkiye'de atık yönetiminin yeteri kadar yaygın olmaması, atıkların ayrıştırılması konusunda yeterli bilinçlendirme çalışmaları yapılmaması ve kentsel atıkların enerjiye çevirecek biyoenerji santral sayılarının az olması, belediye atıklarının enerjiye dönüşümünde istenilen düzeyde olmamasının sebeplerinden sadece bazılarıdır.

Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı Orman Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre Türkiye'nin orman varlığı 2020 yılında 22.933.000 ha büyüklüğündedir. Türkiye'nin orman varlığı yüz ölçümünün %29,4'üne eş değer büyüklük anlamına gelmektedir. '*Türkiye'nin 20.03.2015 tarih ve 29301 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan Orman Ürünlerinin Satış Usul ve Esasları Hakkında Yönetmeliğine göre'*; ormansal

biyokütle enerji kaynağı kesim artıkları ve ağaç kökleri başta olmak üzere bazı orman kalıntılarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı biyokütle enerji tesis ve santrallere satılabilmesini sağlayan hükümleri içermektedir. Orman Genel Müdürlüğü enerjiye dönüştürülecek orman kalıntılarını genelde üretim amaçlı yetiştirilen hızlı gelişen türlerin bulunduğu endüstriyel plantasyon sahalarından karşılamaktadır. Bu kapsamda 14 firma Orman Genel Müdürlüğü'ne 2020 senesinde tahsis talebinde bulunmuştur. Orman Genel Müdürlüğü 2020 yılında 600.000 ton yakacak odun biyokütlesi enerjiye dönüştürülmek üzere satılmıştır (Tarım Ve Orman Bakanlığı, 2021) . Bunun ile birlikte Orman Genel Müdürlüğü enerjiye dönüştürülecek ağaç veya diri örtü kesim atığı veya artığı, süceyrat odunu ve ağaç köklerinden oluşan orman kalıntılarının satışını da yapmıştır. Odun diğer yakıtlara göre daha kısa zamanda yanma ve çabuk ısı verme özellikleriyle üstünlük taşımaktadır. Odun, ormanların en temel ürünlerinden birisidir ve çok değerli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bir kilo odunun yanması için 7 m^3 ile 9 m^3 değerleri arasında havaya ihtiyaç vardır (Elibol, Açıkel, & Şenol, 2017). Bu değer taş kömürü veya linyit için yine aynı ağırlıktaki taş kömürü veya linyit için 15 m^3 ile 17 m^3 değerleri arasında havaya ihtiyaç vardır. Ayrıca odun, taş kömürü ve linyite göre daha temiz enerji kaynağı olup, daha kısa sürece yanma ve ısı verme özelliğine sahiptir.

Tablo 8. Türkiye'nin Orman Kökenli Biyokütle Enerjisi Varlığı

Orman Varlığı Artıkları (ster / yıl)	3.914.904
Endüstriyel Olarak Değerlendirilmeyen Toplam Orman Varlığı Artıkları (ster / yıl)	3.529.319
Süceyrattan Elde Edilebilecek Toplam Orman Atık Miktarı (ster / yıl)	385.585
Orman Varlığı Artıklarının Toplam Enerji Eşdeğeri (TEP / yıl)	859.899

Türkiye'nin orman kökenli biyokütle enerjisi varlığı Tablo 8'de yer verilmiştir. Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası'nın Aralık 2021 verilerine Türkiye'de orman varlığı toplam atık artıkları 3.914.904 ster/yıl'dır. Endüstriyel olarak değerlendirilmeyen toplam orman varlığı artıkları 3.529.319 ster/yıl olup, süceyrattan elde edilebilecek toplam orman atık miktarı 385.585 ster/yıl'dır. Günümüzde orman kalıntıları elektrik, ısı ve yakıt amaçlı kullanılabilmekte olup Türkiye'nin orman varlığı artıklarının toplam enerji eşdeğeri 859.899 TEP/yıl potansiyeline sahiptir.

BÖLÜM 4. TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLE ENERJİSİNİN ÜRETİM VE KULLANIM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Türkiye'nin biyokütle potansiyelinin yaklaşık 100 TWh olduğu düşünülmekte ve biyokütleden üretilebilecek biyogaz miktarı 17,4 TWh ile 23,3 TWh arasında değişmektedir (IEA, 2021). Türkiye'de biyokütle enerjisinin üretimi, kullanımı ve kurulu gücünün arttırılmasına yönelik çalışma ve politikalar tüm hızıyla devam etmektedir.

Tablo 9. Türkiye Kurulu Gücünün Yıllar İtibariyle Gelişimi (EPDK, 2021)

Kaynak	2010 (MW)	%	2020 (MW)	%
Kömür	11.950,3	24,13	19.613,0	20,45
Sıvı Yakıtlar	1.593,3	3,22	189,4	0,20
Doğal Gaz	13.302,1	26,86	21.599,4	22,53
Yenilenebilir Atık+Atık Isı	107,2	0,22	1.502,8	1,57
Çok Yakıtlı	5.325,6	10,75	4.889,1	5,10
Hidrolik	15.831,2	31,97	30.983,9	32,31
Jeotermal	94,2	0,19	1.613,2	1,68
Rüzgar	1.320,2	2,67	8.832,4	9,21
Güneş	-	-	6.667,4	6,95
Toplam	49.524,1	100,00	95.890,6	100,00

2010 ve 2020 yılları için Türkiye'nin enerji kaynağına göre kurulu gücü karşılaştırılmalı olarak Tablo 9'da ayrıntılı bir şekilde paylaşılmıştır. Türkiye'nin 2010 yılında toplam kurulu gücü 49.524,1 MW'dır. Bu değer 2020 yılında ise 95.890,6 MW kurulu gücüne yükselmiştir. Türkiye'nin yenilebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının toplam kurulu gücü 2020 yılında 2010 yılına göre yaklaşık iki kat artmıştır. Türkiye'nin güneş enerjisi toplam kurulu gücü 2020 yılında 6.667,4 MW düzeyindedir. Güneş enerjisi kurulu gücü gerçekleştirdiği büyük yükseliş ile 2020 yılında toplam kurulu gücün %6,95'lik paya sahip olduğu görülmektedir. Dünyada en büyük hidrolik kaynaklı kurulu güce sahip ülkelerden birisi olan Türkiye'nin 2010 yılındaki Hidrolik kaynaklı kurulu gücü 15.831,2 MW'lık bir paya sahiptir. Bu değer 2010 yılındaki toplam enerji kurulu gücün %31,97 payına eşdeğerdir. Türkiye'nin 2020 yılı itibari ile toplam hidroelektrik kurulu gücü 30.983,9 MW olup kurulu güç içerisinde %32,31 paya sahip olduğu saptanmıştır. Türkiye'nin yaklaşık olarak 2020 yılındaki

hidroelektrik kurulu gücü son 10 yılda yaklaşık iki kat artmasına karşın toplam kurulu güçteki payı sadece %0,34'lük artış söz konusu olmuştur. Türkiye'nin 2010 yılındaki rüzgâr enerjisi kurulu gücü 1.320,2 MW değere sahip olup, toplam kurulu güçteki payı %2,67 paya sahip olduğu saptanmıştır. Türkiye'nin 2020 yılı itibari rüzgâr enerjisi toplam kurulu gücü 8.832,4 MW değere sahip olurken toplam kurulu güç içindeki payı %9,21 olmuştur. Türkiye'nin rüzgar enerjisindeki toplam kurulu gücü son 10 yılda rüzgar enerjisi kurulu gücü 7.512,2 MW değerinde artmış olup toplam kurulu güç içerisindeki payı %6,57 oranında artmıştır. Türkiye jeotermal enerjisi üretim ve yapılan yatırımlar anlamında küresel ölçekte önde gelen ülkeler arasındadır. Türkiye'nin 2020 yılı itibari jeotermal enerjisi toplam kurulu gücü 1.613,2 MW değere sahip olurken toplam kurulu güç içindeki payı %1,68 olmuştur. Türkiye'nin jeotermal enerjisindeki toplam kurulu gücü son 10 yılda jeotermal enerjisi kurulu gücü 1.519 MW değerinde artmış olup toplam kurulu güç içerisindeki payı %1,49 oranında artmıştır. Türkiye'nin 2020 yılı itibari biyokütle enerjisi, yenilenebilir atık ve ısı toplam kurulu gücü 1.502,8 MWh değere sahip olurken toplam kurulu güç içindeki payı %1,57 olmuştur. Türkiye'nin 2010 yılındaki biyokütle enerjisi, yenilenebilir atık ve ısı toplam kurulu gücü 107,2 MW değere sahip olurken toplam kurulu güç içindeki payı %0,22 oranında olmuştur. Türkiye'nin son on yılda biyokütle enerjisi toplam kurulu gücü 1.395,6 MW değerindedir. Türkiye'nin son on yıldaki biyokütle enerjisi, yenilenebilir atık ve ısı toplam kurulu gücü yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının oluşturduğu toplam kurulu güce %1,35'lik katkı sunmuştur. Ayrıca son 10 yıldaki toplam kurulu güç artışı açısından bakıldığında ise bu kaynaklar toplam kurulu güç üzerinde en az artış yapan kaynaklar olmuştur. Bu durumun sebebi sayısı giderek azalan biyoetanol ve biyodizel tesisleri, diğer yenilenebilir enerji çeşitlerine daha fazla yatırım yapılması, gerekli çevirim ve dönüşüm teknolojilerindeki kısmi problemler başta gelen nedenler arasındadır (Yıldırım & Koçer, 2022). Ayrıca kömür ve doğalgaz kökenli kurulu güç miktarı son 10 yılda artmışken temsil ettikleri yüzdelik pay anlamında düşüş söz konusudur.

Tablo 10. Ağustos 2020 İtibari İle Türkiye'nin En Fazla Biyokütle Enerjisi Kurulu Gücü Olan İlk 10 Şehir (Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, 2020)

Şehir İsmi	Kurulu Güç (MW)
Ankara	89
İstanbul	67
Balıkesir	51
Afyonkarahisar	43
Antalya	38
İzmir	37
Tekirdağ	36
Zonguldak	33
Adana	29
Konya	28

2020 yılında yayınlanan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 6. Çevre Durum Raporu'na göre Ağustos ayı itibari ile Türkiye'nin en fazla biyokütle enerjisi kurulu gücüne sahip ilk 10 şehri Tablo 10'da belirtilmiştir. 2020 yılı Ağustos ayı itibari ile Türkiye'nin en fazla biyokütle enerjisi kurulu gücüne sahip ili 89 MW ile Ankara olurken en fazla ikinci kurulu güce sahip ili 67 MW ile İstanbul olmuştur. Konya ise 28 MW ile onuncu sıradadır. Biyokütle enerjisi potansiyeli çok yüksek olan özellikle Türkiye'nin iç kesimlerindeki şehirler, biyokütle enerjisi kurulu gücü anlamında istenen durumda değildir. Bu durumun temel sebepleri ise bir takım alt yapı yetersizlikleri, anız yakımları, başta buğday ve arpa saplarının değerlendirilememiş olması, genç nüfusun başta İstanbul olmak üzere Marmara, Ege ve Akdeniz bölgelerindeki şehirlere göç etmeleri ve verimsiz biyokütle enerjisi materyali üretim yöntemleri olarak değerlendirilebilmektedir (TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2011).

4.1. Türkiye'de Biyokütle Enerjisinin Üretimi

Türkiye 2021 yılı Ekim ayı sonu itibari ile santral kurulu gücü 99.050,4 MW düzeyindedir. Türkiye'nin 2020 yılı Aralık ayı sonu itibari ile enerji iletim hattı uzunluğu ise 71.097 km'ye ulaşmıştır (TEİAŞ, 2022). Türkiye Temmuz aynın sonu ile 2021 yılında elektrik enerjisi üretim miktarı 188,7 TWh olarak gerçekleşmiştir. Kaynaklara göre günlük lisanssız dahil yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından toplam enerji üretim miktarı 481.483 MWh değerindedir. Hidroelektrik enerjisinde toplam 43.998 MWh elektik üretimi gerçekleştirilmiş olup Türkiye'nin

elektrik üretiminin %9'luk payını oluşturmaktadır. Türkiye rüzgar enerjisinde toplam 82.984 MWh elektik üretimi gerçekleştirilmiş olup Türkiye'nin elektrik üretiminin %17'lik payını oluşturmaktadır. Türkiye güneş enerjisinde toplam 36.004 MWh elektik üretimi gerçekleştirilmiş olup Türkiye'nin elektrik üretiminin %7'lik payını oluşturmaktadır. Türkiye jeotermal, biyokütle ve diğer enerji türlerinden toplam 28.690 MWh elektik üretimi gerçekleştirilmiş olup Türkiye'nin elektrik üretiminin %6'lik payını oluşturmaktadır. Türkiye termik kökenli santrallerden toplam 318.353 MWh elektik üretimi gerçekleştirilmiş olup Türkiye'nin elektrik üretiminin %61'lık payını oluşturmaktadır (TEİAŞ, 2022). Türkiye aynı zamanda Türkiye Temmuz 2021 sonuna kadar yıl içerisinde toplam 2,2 TWh elektrik ihracatı yapmıştır.

Tablo 11. 2020 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı (TEİAŞ, 2022)

Kaynak	**Üretim (GWh)**	**Katkısı (%)**
İthal Kömür	62.505,6	20,38
Taşkömürü + Asfaltit	5.368,1	1,75
Linyit	37.938,4	12,37
Doğal Gaz	70.931,3	23,13
Sıvı Yakıtlar	322,7	0,11
Barajlı	57.463,9	18,74
D.Göl ve Akarsu	20.630,4	6,73
Rüzgar	24.828,2	8,10
Yenilenebilir Atık+Atık Isı	5.736,6	1,87
Jeotermal	10.027,7	3,27
Güneş	10.950,2	3,57
TOPLAM	**306.703,1**	**100,00**

2020 yılı yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları itibari ile Türkiye'nin elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımına Tablo 11'de yer verilmiştir. Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarına göre toplam elektrik üretim miktarı 306.703,1 GWh değerindedir. 2020 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımında en büyük pay %23,13 ile doğal gazda gerçekleşmiştir. En fazla üretim yapılan ikinci kaynak %20,38 pay ve 62.505,6 GWh'lik üretim ile ithal kömür olmuştur. Sıvı yakıtlar Türkiye'de, 2020 yılında 322,7 GWh'lik elektrik üretimi gerçekleştirmiş olup kaynaklara göre toplam enerji üretiminde %0,11 paya sahiptir. Türkiye'de kaynaklara göre en az elektrik üretimine katkı sıvı yakıtlarda

gerçekleştirilmiştir. Biyokütle enerjisi günümüzde hem geleneksel hem de modern yöntemlerle kullanılmakta olup 2020 yılı itibari ile küresel ölçekte toplam elektrik kurulu gücü 126.654 MW'a ulaşmıştır. Türkiye'nin 2020 yılı itibari biyokütle enerjisi, yenilenebilir atık ve ısı toplam kurulu gücü 1.502,8 MWh değere sahip olurken toplam kurulu güç içindeki payı %1,57 olmuştur. Türkiye'nin 2020 yılında kaynaklara göre elektrik üretimi biyokütle enerjisinden (yenilenebilir atık ve atık ısı) 5.736,6 GWh ile gerçekleşmiş olup toplam kaynaklara göre toplam elektrik üretiminde %1,87 paya sahip olduğu saptanmıştır.

Tablo 12. 2020 Türkiye'nin Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretiminin Dağılımı (TEİAŞ, 2022)

Yenilenebilir Enerji Kaynağı	Üretim (GWh)	%
Yenilenebilir Atık+Atık	4.459,9	3,47
Rüzgar	24.828,2	19,34
Güneş	10.950,2	8,53
Barajlı	57.463,9	44,77
Doğal Göl Ve Akarsu	20.630,4	16,07
Jeotermal	10.027,7	7,81
TOPLAM	128.360,4	100,00

Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminin dağılımı 2020 yılı itibari ile Tablo 12'de yer verilmiştir. Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarına göre toplam elektrik üretim miktarı 306.703,1 GWh değerindeyken yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim 128.360,4 GWh düzeyinde gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları biyokütle (yenilenebilir atık ve atık), rüzgar, güneş, barajlı, doğal göl ve akarsu ile birlikte jeotermalin toplam elektrik üretimi Türkiye'nin %41,85'lik kısmını karşılamaktadır. Doğalgaz, ithal kömür, linyit başta olmak üzere diğer yenilenemeyen enerji kaynaklarından üretilen elektrik miktarı 178 GWh olup Türkiye'deki elektrik üretiminin %58,15'lik paya sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında barajlı hidroelektrik santraller 57.463,9 GWh'lik katlı sağlayarak yenilenebilir enerji kaynakları arasında %44,77'lik pay ile en fazla üretim yapan kaynak olmuştur. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi dağılımında en fazla yararlanılan ikinci kaynak 24.828,2 GWh'lik üretim ve %19,34'luk pay ile rüzgar enerjisidir. Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin dağılımında 2020 yılı itibari ile en az üretim yenilenebilir atık ve diğer atıklardan oluşan biyokütle enerjisine

aittir. TEİAŞ 2020 Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi sürecine atık ısı elektrik üretim değerleri dahil edilmemiştir. Yenilenebilir atık ve diğer atıklardan oluşan biyokütle enerjisinin yenilenebilir enerji kaynaklı 2020 yılı elektrik üretim miktarı 4.459,9 GWh olup %3,47'lik paya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 13 Türkiye'de Kaynaklara Göre Isı Üretimi (İlleez, 2020)

Yıllar	Toplam (TEP)	Kömür (TEP)	Petrol (TEP)	Doğal Gaz (TEP)	Diğer (TEP)	Biyo Yakıtlar (TEP)	Atık (TEP)	Biyokütle Payı (%)
2000	401.166	21.878	26.846	337.800	14.641	0.000	0.000	0,0
2005	875.060	15.621	35.254	799.346	24.840	0.000	0.000	0,0
2010	1.261.345	20.612	22.428	1.177.869	35.349	5.087	0.000	0,4
2015	1.148.705	72.967	54.003	804.099	157.591	39.529	20.517	5,2
2018	1.299.943	69.528	34.872	716.538	346.327	95.323	37.355	10,2

Türkiye'de kaynaklara göre ısı üretimi Tablo 13'te paylaşılmıştır. Türkiye'nin toplam ısı üretimi 2018 yılına kadar geçen süreç içerisinde 401.166 TEP değerinden 1.299.943 TEP değerine kadar bir atış göstermiştir. 2000 yılında kaynaklara göre ısı üretiminde en yüksek paya 337.800 TEP ile kömürde sahipken biyoyakıt ve atıklardan ise ısı üretimi gerçekleşmemiştir. 2005 yılında kaynaklara göre ısı üretimindeki en yüksek pay 799.346 TEP ile doğalgazda olmuştur. Benzer şekilde 2005 yılında da biyoyakıt ve atıklardan ısı üretimi gerçekleşmemiştir. Biyoyakıtlardan ısı üretimi 2005 yılından sonra gerçekleşmeye başlanmıştır. 2010 yılında kaynaklara göre ısı üretimindeki en yüksek pay 799.346 TEP ile doğalgaz da olmuştur. 2010 yılında biyoyakıtlardan 5.087 TEP ısı üretilirken, bu değer toplam ısı miktarının % 0,4'ünü oluşturmaktadır. 2015 yılında da en fazla ısı üretimi gerçekleştirilen kaynak doğalgaz olmuştur. 2015 yılında Türkiye'de biyoyakıtlardan 39.529 TEP ve atıklardan 20.517 TEP olmak üzere toplamda 60.046 TEP ısı üretimi sağlanmıştır. Türkiye'nin 2015 yılında biyokütle kökenli ısı üretimi toplam ısı üretiminin %5,2'sini temsil etmektedir. 2018 yılında da biyoyakıtlardan 95.323 TEP ve atıklardan 37.355 TEP olmak üzere toplamda 132.658 TEP ısı üretimi sağlanmıştır. Bu değer 2015 yılı biyokütle enerjisinden ısı üretiminin toplam değerinde yaklaşık iki katı fazladır. Kısa sürede bu kadar fazla artışın olmasının sebebi atık kategorisine kentsel atıkların dahil edilmesi, daha iyi bir atık yönetimi, biyokütle materyalini ısıya çevirecek dönüşüm teknolojilerinin uygulamaya geçilmesi, gerekli yatırım ve teşvikler başta gelen nedenler arasındadır. Türkiye'nin 2018 yılında biyoyakıt ve atıklardan oluşan biyokütle kökenli

ısı üretimi toplam ısı üretiminin %10,2'sini temsil etmektedir. Türkiye 2018 yılında 2010 yılına göre toplam ısı üretimdeki biyokütle enerjisinin payında %9,8'lik bir artış sağlanmış durumdadır.

Tablo 14. Türkiye'de Mevcut Ve Planlanan Biyoenerji Üretimi (Toklu, 2017)

Yıllar	Modern biyokütle (TEP) (ktoe)	Klasik biyokütle (TEP) (ktoe)	Toplam (TEP) (ktep)
2008	1640	5976	7616
2010	1710	5754	7464
2012	2121	5364	7485
2014	2543	5082	7625
2016	2854	4856	7710
2018	3284	4568	7852
2020	3598	4234	7832
2022	3860	3976	7836
2024	4086	3785	7871
2026	4472	3556	8028
2028	4732	3322	8054
2030	4940	3300	8240
Toplam	39840	53773	93613

Tablo 14'te Türkiye'nin yıllara göre mevcut ve planlanan biyoenerji üretimi geleneksel ve modern yöntemler olmak üzere ayrı ayrı belirtilmiştir. Türkiye'de 2008 yılında modern biyokütle çevirim yöntemleri ile 1640 TEP enerji elde edilirken, geleneksel yöntemlerle biyokütle enerjisinden 5976 TEP enerji elde edilmiştir. 2008 yılında Türkiye'nin modern yöntemlerle veya geleneksel yöntemlerle toplam biyokütle enerjisi üretim miktarı 7616 TEP olmuştur. Türkiye'de zamanla modern yöntemlerle biyokütle enerjisinden elektrik ısınma ve yakıt kullanım amaçlı üretim artarken klasik olarak adlandırılan daha çok gelişmemiş ya da gelişmekte olan ülkelerin kullanmış olduğu enerji üretim yöntemi daha az tercih edilebilir noktasına gelmiştir. Türkiye'nin ilerleyen yıllarda planlanan biyokütle enerjisi üretimi 2022 yılında klasik yöntem ile modern yöntemin hemen hemen eşit düzeyde enerji üreteceği ön görülmektedir. 2022 yılında Türkiye 3860 TEP modern yöntemlerle enerji üreteceği ön görülürken geleneksel yöntemlerle 3976 TEP biyoenerji üretiminin yapılacağı planlanmaktadır. Türkiye'nin biyokütle enerjisi üretim projeksiyonunda 2024 yılında modern yöntemlerle biyokütle üretimi 4086 TEP geleneksel yöntemlerle ise 3785 TEP olacağı planlanmaktadır, Türkiye'nin modern ve geleneksel yöntemler ile toplam biyoenerji üretimi 7871 TEP olacağı planlanmaktadır. 2024 yılında ilk defa Türkiye'nin modern

yöntemlerle biyoenerji üretiminin geleneksel yöntemlerden elde edilen biyoenerji miktarından daha fazla olacağı planlanmaktadır. Türkiye'nin modern biyoenerji üretimi 2028 yılında 4732 TEP olacağı planlanırken geleneksel biyoenerji üretimi ise 3322 TEP olacağı planlanmaktadır. Türkiye'nin 2028 yılında klasik yöntemler ile modern yöntemlerle biyokütle enerjisi üretim miktarı toplam 8054 TEP olacağı ön görülmektedir. Türkiye'nin 2030 yılında modern ve geleneksel yöntemlerle biyoenerji üretimi projeksiyonunda ise modern yöntemler ile 4940 TEP biyokütle enerjisi üretimi gerçekleştirilmesi planlanırken geleneksel yöntemlerle biyoenerji üretimi ise 3300 TEP olacağı ön görülmektedir. Türkiye'nin üretmiş olduğu ve planladığı 2008 yılı ile 2030 yılı arasındaki toplam modern kaynaklar itibari ile biyokütle enerjisi üretim miktarı 39840 TEP olarak gerçekleşirken geleneksel yöntemler ile gerçekleşen biyo enerji miktarı 53773 TEP olmuştur. Böylece toplam biyoenerji miktarının 93613 TEP olacağı ön görülmektedir.

4.2. Türkiye'de Biyokütle Enerjisi Kullanımı

Türkiye Temmuz ayı sonu itibari ile 2021 yılında 187,4 TWh elektrik enerjisi tüketimi gerçekleştirmiştir. Ayrıca 0,9 TWh da elektrik ithalatı yapmıştır.

Tablo 15. 2011–2020 Yılları Türkiye Elektrik Tüketimi (TEİAŞ, 2022)

Yıl	Enerji Tüketimi GWh	Artış (%)
2011	230.306	9,4
2012	242.370	5,2
2013	246.357	1,6
2014	257.220	4,4
2015	265.724	3,3
2016	279.286	5,1
2017	296.702	6,2
2018	304.167	2,5
2019	303.320	-0,3
2020	306.109	0,92

2011–2020 yılları arasında Türkiye elektrik tüketimi ve artış miktarları Tablo 15'te verilmiştir. 2020 yılı Türkiye elektrik üretimi 306.703,1 GWh olmuştur. 2020 yılında elektrik enerjisi tüketimi ise 306.109 GWh olmuştur. 2019 yılında Türkiye'nin elektrik tüketim miktarı 303.320 GWh düzeyindedir. Türkiye'de elektrik tüketimi 2020 yılından 2019 yılına göre %0,92 düzeyinde bir artış göstermiştir. Türkiye'nin 2020 yılında kaynaklara göre elektrik üretimi biyokütle enerjisinden (yenilenebilir atık+atık

ısı) 5.736,6 GWh ile gerçekleşmiş olup toplam kaynaklar içerisinde %1,87 paya sahip olduğu saptanmıştır. Doğada kendiliğinden bulunan ve her türlü organik atıktan elektrik, ısı ve yakıt olarak üretilebilen biyokütle enerjisi enerji üretiminde çok daha etkin, verimli, yaygın ve modern dönüşüm teknolojisi ile üretilmesi son derece gereklilik haline gelmiştir.

Tablo 16. Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Kullanım Oranları (İlleez, 2020)

Yıl	Toplam (MTEP)	Kömür (%)	Doğal Gaz (%)	Petrol (%)	Fosil Yakıtlar (%)	Nükleer (%)	Yenilenebilir (%)	Biyokütle/ Yenilenebilir (%)
1990	51,50	30,3	5,5	45,4	81,2	0,0	18,8	74,6
1995	60,96	26,2	9,5	46,6	82,3	0,0	17,7	65,6
2000	76,00	30,0	16,6	40,0	86,7	0,0	13,3	64,2
2005	84,09	26,6	27,1	34,2	87,9	0,0	12,1	52,5
2010	105,79	29,5	29,7	29,8	89,0	0,0	11,0	38,8
2015	128,48	26,9	30,7	30,1	87,6	0,0	12,4	20,3
2018	145,94	29,6	28,2	28,8	86,6	0,0	13,4	15,5

Tablo 16'da Türkiye'nin birincil enerji kaynaklarına göre kullanım oranları yıllara göre paylaşılmıştır. Türkiye 1990 yılında Türkiye birincil enerji kaynakları kullanım miktarı 51,5 MTEP değerindedir. 1990 yılında birincil enerji kullanımında en fazla petrol tercih edilmiştir. 1990 yılında birincil kaynaklara göre yenilenebilir enerji toplam enerji kullanımı 9,682 MTEP düzeyinde olup toplam kullanımın %18,8'lik payına sahiptir. 1990 yılında 9,682 MTEP toplam yenilenebilir enerji kullanımının 7,222 MTEP'lik kısmını yani %74,6'sını biyokütle enerjisi oluşturmaktadır. Yıllar içerisinde hızlı nüfus artışı ile Türkiye'nin birincil kaynaklara göre kullanmış olduğu toplam enerji miktarı da artmıştır. 1990 yılından 2018 yılına kadar Türkiye'nin toplam birincil enerji kaynakları kullanımında, petrol kullanımının payı giderek azalmıştır. 1990 yılından sonra Türkiye'nin birincil enerji kullanımında doğalgazın payı ise giderek artmıştır. Türkiye yine aynı zamanda nükleer enerji kullanımı hala gerçekleşmemiş olup ilk kullanımının 2026 yılında olacağı ön görülmektedir. Türkiye'nin 1990 yılından sonra yenilenebilir enerji kullanımındaki biyokütle enerjisi kullanım oranı giderek azalmıştır. Bu durumun temel nedeni geleneksel biyokütle enerjisi kullanım tekniğinin giderek azalması yerine yavaş yavaş modern yenilenebilir biyokütle enerji kullanımına geçilmesi ve özellikle diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların da

biyokütle enerjisinden fazla olması da bu azalışın temel nedenlerinden birisidir. Bununla birlikte doğalgaz kullanımının yaygınlaşması ile geleneksel biyokütle enerjisi kullanım metodu olan başta yemek pişirme, ısınmak için yakacak odun kullanımının da azalması biyokütle enerjisinin yenilenebilir enerji kullanımındaki payının azalmasında bir etken olduğu kabul edilebilir nedenler arasındadır. Türkiye'nin 2018 yılında birincil enerji kaynakları kullanım miktarı 145,94 MTEP değerindedir. Türkiye 2018 yılında birincil enerji kullanımında %29,6'lık bir pay ile en fazla kömür tercih etmiştir. 2018 yılında birincil kaynaklara göre yenilenebilir enerji toplam enerji kullanımı 19,555 MTEP düzeyinde olup toplam kullanımın %13,4'lük payına sahiptir. 2018 yılında 19,555 MTEP toplam yenilenebilir enerji kullanımının 3,031 MTEP'lik kısmını biyokütle enerjisi oluşturmaktadır. 1990 yılında biyokütle enerjisi kullanımı 7,222 MTEP düzeyindeyken 2018 yılında 3,031 MTEP düzeyine düşmüştür. Böylece 18 yıl içerisinde biyokütle enerjisi toplam kullanım miktarında büyük düşüş görülmüştür.

Türkiye enerji kullanımında %70'in üzerinde dışa bağımlı durumdadır. Kullandığı petrolün tamamı yurt dışından satın alınmaktadır. Bu durum enerji açısından yabancı ülkelere bağımlılık oluşturmak ile birlikte, istihdam açısından ve ekonomik açıdan ciddi sorunlar oluşturmaktadır. Türkiye buğday, arpa ve diğer biyoetanol üretimi açısından zengin kaynaklara sahip olan bir ülkedir. Türkiye'de enerji bitki yetiştiriciliği yapılması, enerji ormanlarının kurulması biyoetanol üretiminin arttırılmasını sağlayacak olan en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Türkiye'nin biyoetanol üretiminin ve kullanımını yaygınlaşması ile yakıt amaçlı kullanılan petrole bağımlılığın kısmi ölçüde azalmasına, sera gazı emisyonlarının azalmasına, biyoetanol kaynaklı istihdam sayısının artmasına neden olacaktır.

Tablo 17. 2019 Yılında Türkiye'de Üretilen Bazı Tarım Ürünlerinden Elde Edilebilecek Biyoetanol Miktarları (İlleez, 2020)

Tarım Ürünleri	Üretim (ton)	Biyoetanol Üretim Potansiyeli (l/ton)	Elde Edilebilecek Biyoetanol Miktarı (m^3)
Buğday	19.000.000	340	6.460
Şeker Pancarı	18.085.528	110	1.989
Arpa	7.600.000	250	1.900
Mısır	6.000.000	360	2.160
Patates	4.750.000	110	523
Pirinç	920.000	430	396
		Toplam	**13.428**

Tablo 17'de 2019 yılında Türkiye'de üretilen bazı tarım ürünlerinden elde edilebilecek biyoetanol miktarları paylaşılmıştır. Biyoetanol üretiminde kullanılmak üzere paylaşılan materyaller kullanım durumunda 13.428 milyar litre kaynak sağlayabilecektir (İlleez, 2020).

Günümüzde Türkiye'de 2 milyar 964 milyon litre benzin tüketilmektedir (Öymen, 2020). Türkiye'de Aralık ayı 2021 yılı itibari ile biyodizel işleme lisansı sahibi firma sayısı sekiz tane olup biyoetanol işleme lisansı sahibi firma sayısı 5 tanedir. Bu tesislerde biyoetanol elde etmek için şeker pancarı, buğday ve mısır tercih edilmektedir (Kandemir & Sarptaş, 2022).

Türkiye'nin ısı üretimi, ana faaliyet üreticileri ve otoprodüktörlerin sattıkları ısıya ilişkin veriler kapsamında ısı ve elektrik üretimi için 2020 yılında biyoenerji ve atık kaynaklı enerji tüketimi 778.000 TEP miktarındadır. Isı üretimi, otoprodüktörlerin satılmayan ısısına ilişkin verileri kapsayan enerji tüketimi 1.000 TEP düzeyindedir. Türkiye'de 2020 yılında çevirim ve enerji sektöründe biyoyakıt ve atıklardan toplam enerji tüketimi 779.000 TEP düzeyindedir.

Türkiye'de 2020 yılında gıda ürünleri imalatı amaçlı biyoenerji ve atıklardan 41.000 TEP düzeyinde enerji tüketimi gerçekleşmiştir (Enerji İsleri Genel Mudurlugu Denge Tabloları, 2020). Türkiye 2020 yılında tekstil ürünlerinin imalatı amaçlı biyoenerji ve atıklardan toplam 1000 TEP enerji tüketimi gerçekleştirmişken giyim eşyalarının imalatı amaçlı biyoenerji ve atıklardan 41.000 TEP enerji tüketimi gerçekleştirilmiştir. 2020 yılında Türkiye'de deri ile ilgili ürünlerin imalatı amaçlı

biyoenerji ve atıklardan enerji tüketimi gerçekleşmemiştir. Türkiye'de ağaç ve ürünleri imalatı amaçlı biyoenerji ve atıklardan toplam 298.000 TEP düzeyinde enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Türkiye'de kâğıt ve kâğıt ürünleri imalatı amaçlı biyoenerji ve atıklardan enerji tüketimi 5.000 TEP düzeyinde olup kimya, petrokimya ürünlerinin imalatı amaçlı biyoenerji ve atık kaynaklı enerji tüketimi 3.000 TEP düzeyindedir. 2020 yılında metalik olmayan mineral ürünlerinden biri olan çimento imalatı amaçlı biyoenerji ve atıklardan toplam 475.000 TEP düzeyinde enerji tüketimi gerçekleştirilmişken cam ürünleri ve seramik ürünleri olan metalik olmayan mineral ürünlerinden biyoenerji ve atık kaynaklı enerji tüketimi gerçekleşmemiştir (Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020). Ana metal sanayinde demir ve çelik ürünlerinin imalatı için biyoenerji ve atık kaynaklı enerji tüketimi 1000 TEP olarak gerçekleşmişken biyoenerji ve atık kaynaklı enerji tüketimi fabrikasyon metal ürünleri imalatı için 36.000 tep düzeyinde olmuştur. 2020 yılında Türkiye'de demir dışı metal ürünleri imalatı biyoenerji ve atık kaynaklı enerji tüketimi gerçekleşmemiş olup Türkiye'de demir ve çelik ile fabrikasyon metal ürünleri imalatı amaçlı ana metal sanayiden biyoenerji ve atık kökenli enerji tüketimi 37.000 TEP düzeyinde olmuştur. Makine elektrik ve elektronik ürünleri imalatı amaçlı biyoenerji ve atıklardan toplam 2.000 TEP düzeyinde enerji tüketimi gerçekleşmiştir. Biyoenerji ve atıklardan mobilya imalatı amaçlı enerji tüketimi 3.000 TEP düzeyindedir. Bu veriler ışığında Türkiye'de biyoenerji ve atıklardan sanayi tüketimi 912.000 TEP düzeyindedir.

2020 yılında Türkiye'de ulaştırma sektöründe kullanılan biyoenerji ve atık kaynaklı enerji tüketimi 122.000 TEP düzeyinde olmuştur. Ulaştırma'da demiryolu, denizyolu, havayolu ve boru hatları için biyoenerji ve atık kaynaklı enerji tüketimi gerçekleşmemiştir. Ulaşım sektöründe karayollarında kullanılan biyoenerji ve atık kökenli enerji miktarı 122.000 TEP olarak gerçekleşmiştir (Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2020 Enerji Denge Tabloları verilerine göre Türkiye konut sektöründe biyoenerji ve atık kökenli kullanılan enerji miktarı 1584 TEP düzeyinde gerçekleşmiştir.

BÖLÜM 5. TÜRKİYE'DEKİ BİYOKÜTLE ENERJİ SANTRALLERİNİN DURUMU

Günümüzde buhar türbinli termik santraller, gaz türbinli termik santraller, dizel termik santraller, nükleer enerji kaynaklı termik santraller, barajlı hidroelektrik santraller, akarsuya kurulan hidroelektrik santraller, güneş enerjisine dayalı santraller, rüzgar enerjisi kaynaklı santraller, jeotermal enerjisi kaynaklı santraller, atık ısı santralleri, biyogaz enerji santralleri ve çeşitli biyoyakıt santralleri ile yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklardan enerji üretmek amaçlanmaktadır. Santrallerin kurulacağı alanlar maden sahalarından uzak olmalıdır. Tarımsal üretim potansiyeli düşük alanlar tercih edilmelidir. Askeri tesis veya güvenlik açısından sorun yaratabilecek sahalara kurulmamalıdır. Kurulacak santrallerin enerji dağıtım ve iletim hatlarına yakın, ulaşım ve altyapı tesisleri açısından sorunların olmadığı, kurulacak santralin alternatif enerji kaynağı yüksek sahalara yakın olmasının tercih edilmesi santral kurulumunda aranan niteliklerden sadece bazılarıdır. Türkiye'de genellikle santral kurulum süreci sırası ile başvuru süreci, ön lisans süreci, inşaat süreci ve en son faaliyet süreci olarak ilerlemektedir (PWC, 2021). Biyokütle enerji santralleri diğer alternatif enerji kaynaklı santrallere göre santralin kurulumundan önce yapılması gereken parametre anlamında daha az değerlendirmeye sahiptir.

Tablo 18. Türkiye'de Enerji Talep Tahmini (EPDK, 2020)

Yıl	Enerji Talebi (GWh)	Artış (%)
2021	307.753	
2022	331.924	7,9
2023	349.759	5,4
2024	365.321	4,4
2025	378.540	3,6
2026	391.763	3,5
2027	405.552	3,5
2028	421.543	3,9
2029	436.600	3,6
2030	453.590	3,9

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü Planlama ve Yatırım Yönetimi Dairesi Başkanlığı'nın yayınlamış olduğu Üretim Kapasite Projeksiyonu 2021-2025 adlı yayında 2030 yılına kadar Türkiye'de enerji talep tahmini Tablo 18'de paylaşılmıştır. Türkiye'de yabancı ülkelerden göç alan ve hızlı nüfus artışına sahip bir ülke

pozisyonundadır. Türkiye'nin 2030 yılına kadar enerji talebinde hızlı bir atış söz konusudur. Türkiye'nin 2022 yılında elektrik enerjisine olan talebi 331.924 GWh olup 2021 yılına göre elektrik enerjisi kullanımı %7,9'luk bir artış göstermektedir. 2023 yılında yani Türkiye Cumhuriyeti'nin yüzüncü yılında Türkiye'nin elektrik enerjisine olan talebi 349.759 GWh düzeyinde olup 2022 yılına göre %5,4'lük talep artışı olacağı öngörülmüştür. Türkiye'nin 2024 yılında elektrik enerjisine olan talebi 365.321GWh düzeyinde olacağı öngörülmüş olup 2023 yılına göre %4,4'lük bir artış olacağı yayınlamış yayında belirtilmiştir. Türkiye'de 2025 ile 2030 yılları arasında yıllara göre enerji talep artışı her yıl bir önceki yılın %3,5 ile %4 arasında artacağı öngörülmüştür. Türkiye 2030 yılında elektrik enerjisi talebi 453.590 GWh düzeyinde olup 2029 yılına göre elektrik enerjisi talebi artışının %3,9'lük bir artış olması ön görülmüştür. Tam da bu noktada Türkiye'nin biyokütle enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji santrallerinin ileri teknoloji ve yüksek verimlilikte kullanması Türkiye'nin enerji ihtiyacımın karşılanması noktasında ve dışa bağımlılığı azaltma noktasında önemli bir yer tutacaktır.

Tablo 19. 2020 Yılı Elektrik Üretim-Tüketim Programı Ve Gerçekleşmesi (TEİAŞ, 2020)

Kuruluşlar	2020 Yılı Programı (GWh)	2020 Yılı Gerçekleşme (GWh)	2020 Yılı Üretiminin Kuruluşlara Dağılım (%)
Eüaş Sant.	53.315,4	55.585,1	18,1
İşletme Hakkı Dev. Sant.	6.453,7	7.934,4	2,6
Yap İşlet Devret Santraller	411,2	438,3	0,1
Serbest Üretim Şirketleri	251.132,3	230.289,7	75,1
Organize Sanayi Bölgeleri	346,4	461,8	0,2
Lisanssız Santraller	11.199,0	11.993,8	3,9
Eüaş Dışındaki Üretim Toplamı	269.542,6	251.117,9	
Türkiye Üretim Toplamı	322.858,0	306.703,1	
Dış Alım Toplamı	1.147,0	1.889,5	
Türkiye Üretimi + Dışalım	324.005,0	308.592,6	
Dış Satım Toplamı	2.005,0	2.483,6	
Türkiye Tüketimi	322.000,0	306.109,0	100

Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. 2020 Yılı Elektrik Üretim Programı'nda yer verilen ve gerçekleşen elektrik üretim miktarları Tablo 19'da belirtilmiştir. Kuruluşlar 2020 yılı programı dahilinde Türkiye Eüaş santralleri kaynaklı 53.315,4 GWh elektrik üretimi öngörülmüş olup, gerçekleşen 55.585,1 GWh düzeyinde olmuştur. Türkiye'de toplam elektrik üretiminin kuruluşlara dağılımında Eüaş Santralleri %18'lik paya sahip olmuştur. Türkiye'de işletme hakkı devlete ait olan santrallerde 2020 yılında planlanan 6.453,7 GWh elektrik üretimi öngörülmüş olup gerçekleşen 7.934,4 GWh düzeyinde olmuştur. Türkiye'de toplam elektrik üretiminin kuruluşlara dağılımında işletme hakkı devlete ait olan santraller %2,6 lık paya sahip olmuştur. Türkiye'de yap işlet devret modeli ile kurulmuş olan santrallerde 2020 yılında planlanan 411,2 GWh elektrik üretimi planlanmış olup gerçekleşen 438,3 GWh düzeyinde olmuştur. Türkiye'de toplam elektrik üretiminin kuruluşlara dağılımında yap işlet ve devret modeli ile kurulmuş olan santraller %0,1 lik paya sahip olmuştur. Türkiye'de işletme hakkı devlete ait olan santrallerde gerçekleşen elektrik üretimi planlanan elektrik üretim miktarından 27,1 GWh daha fazla olmuştur. Türkiye'de serbest üretim şirketleri ile

2020 yılında planlanan 251.132,3 GWh elektrik üretimi planlanmış olup gerçekleşen 230.289,7 GWh düzeyinde olmuştur. Türkiye'de toplam elektrik üretiminin kuruluşlara dağılımında serbest üretim şirketleri %75,1 lik paya sahip olmuştur. Türkiye'de serbest üretim şirketleri ile gerçekleşen elektrik üretimi planlanan elektrik üretim miktarından 20.842,6 GWh daha az olmuştur. Türkiye'de organize sanayi bölgeleri 2020 yılında planlanan 346,4 GWh elektrik üretimi planlanmış olup gerçekleşen 461,8 GWh düzeyinde olmuştur. Türkiye'de toplam elektrik üretiminin kuruluşlara dağılımında yap işlet ve devret modeli ile kurulmuş olan santraller %0,2 lik paya sahip olmuştur. Türkiye'de organize sanayi bölgelerinde gerçekleşen elektrik üretimi planlanan elektrik üretim miktarından 115,4 GWh daha fazla olmuştur. Türkiye'de bulunan lisanssız santrallerde 2020 yılında planlanan 11.199,0 GWh elektrik üretimi planlanmış olup gerçekleşen 11.993,8GWh düzeyinde olmuştur. Türkiye'de toplam elektrik üretiminin kuruluşlara dağılımında lisanssız santraller %3,9 luk paya sahip olmuştur. Türkiye'de bulunan lisanssız santrallerde gerçekleşen elektrik üretimi planlanan elektrik üretim miktarından 794,8 GWh daha fazla olmuştur. Türkiye'nin santrallerden, tesislerden ve organize sanayi bölgelerinden elektrik enerjisi planlanan toplam üretim 322.858,0 GWh ile planlanmışken gerçekleşen 306.703,1 GWh düzeyinde olmuştur. Türkiye'de toplam elektrik üretimi kuruluşlarında gerçekleşen elektrik üretimi planlanan elektrik üretiminden 16.154,9 GWh daha az gerçekleşmiştir. 2020 yılında Türkiye'de elektrik enerjisi üretimi ve dışalım miktarı toplamı 324.005,0 GWh planlanmışken gerçekleşen 308.592,6 GWh olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'de planlamalar dahilinde üretim ile dış alım kaynaklı toplam elektrik enerjisi miktarı, gerçekleşen dış alım ile gerçekleşen elektrik enerjisi üretiminden 2.931.457,4 GWh daha fazla gerçekleşmiştir. Türkiye gerçekleştirdiği elektrik enerjisi üretimi planladığı elektrik enerjisinin gerisinde kalmıştır. 2020 yılı için planlanan elektrik tüketimi 322.000,0 GWh olarak öngörülmüşken 2020 yılında gerçekleşen 306.109,0 GWh düzeyinde olmuştur. Yine aynı şekilde Türkiye'de planlanan elektrik enerjisi tüketimi gerçekleşen elektrik enerjisi tüketiminden fazla olmuştur.

Tablo 20. 2020 Yılı Sonu İtibariyle Elektrik Piyasası Ön Lisans Ve Üretim Lisansı Dağılımı (EPDK, 2020)

Kaynak Türü	Ön Lisans		Üretim Lisansı	
	Lisans Sayısı	Lisansa Derç Edilen Kurulu Güç (MWe)	Lisans Sayısı	Lisansa Derç Edilen Kurulu Güç (MWe)
Hidrolik	91	3.807,57	778	33.838,94
Rüzgar	87	3.688,44	262	11.429,76
Jeotermal	10	350,80	63	1.803,63
Biyokütle	126	743,64	242	1.759,57
Güneş			38	1.488,81
İthal Kömür	1	800,00	13	11.766,80
Yerli Kömür	3	519,83	27	13.761,89
Kömür			17	1.629,56
Fuel-oil			24	1.054,51
Doğal Gaz	3	810,75	279	26.846,70
Uranyum			1	4.800,00
Diğer Termik			38	889,81
Genel Toplam	321	10.721,03	1.782	111.070,00

2020 yılında Elektrik Piyasası 2020 yılı Piyasa Gelişim Raporu'nda 2020 yılı sonu itibari ile ön lisans ve üretim lisansı dağılımı Tablo 20'de detaylı bir şekilde yer verilmiştir. Türkiye'de 2020 yılı sonu itibari ile hidrolik enerji kökenli ön lisans alınmış 91 işletme bulunmaktadır. Ön lisans durumunda lisansa dahil edilen kurulu güç ise 3.807,57 MWe durumundadır. 2020 yılı sonu itibari ile üretim lisansına sahip işletme sayısı 778 adet olup üretim lisanslı sisteme dahil edilen kurulu güç ise 33.838,94 MWe düzeyinde olmuştur. Türkiye'de 2020 yılı sonu itibari ile rüzgar enerji kökenli ön lisans alınmış 87 işletme bulunmaktadır. Ön lisans durumunda lisanssa dahil edilen kurulu güç ise 3.688,44 MWe durumundadır. 2020 yılı sonu itibari ile üretim lisansına sahip işletme sayısı 262 adet olup üretim lisanslı sisteme dahil edilen kurulu güç ise 11.429,76 MWe düzeyinde olmuştur. 2020 yılı sonunda ön lisansa sahip jeotermal enerji kökenli işletme sayısı 10 tanedir. Ön lisansa sahip sisteme dahil edilen jeotermal enerji işletmelerinin 350,80 MWe kurulu güce sahiptir. 2020 yılı sonu itibari ile üretim lisansına sahip işletme sayısı 63 tane olup lisansa derç edilen kurulu güç ise 1.803,63MWe düzeyindedir. Türkiye'de 2020 yılı sonu itibari ile ön lisansa sahip biyokütle enerji işletmelerinin sayısı 126 tanedir. Ön lisansa sahip sisteme derç edilen kurulu güç miktarı ise 743,64 MWe düzeyindedir. Türkiye'de üretim lisansına sahip

biyokütle işletme sayısı 242 adet olup lisansa dahil edilen kurulu güç miktarı ise 1.759,57 MWe düzeyindedir. 2020 yılında Türkiye'de 2020 yılında ön lisansa sahip güneş enerjisi kökenli işletme bulunmamaktadır. Ön lisansa sahip güneş enerjisi kökenli işletme bulunmadığından sisteme dahil edilen kurulu güç miktarı da bulunmamaktadır. Türkiye 2020 yılı sonu itibari ile üretim lisansına sahip işletme sayısı 38 adettir. üretim lisansına sahip lisansa derç edilen kurulu güç 1.488,81 MWe düzeyindedir. Türkiye'de 2020 yılı sonu itibari ile ithal kömür kökenli ön lisans alınmış 1 işletme bulunmaktadır. Ön lisans durumunda lisanssa dahil edilen kurulu güç ise 800,00 MWe durumundadır. 2020 yılı sonu itibari ile üretim lisansına sahip işletme sayısı 13 adet olup üretim lisanslı sisteme dahil edilen kurulu güç ise 11.766,80 MWe düzeyinde olmuştur Türkiye'de 2020 yılı sonu itibari ile ön lisansa sahip yerli kömür işletme sayısı 3 tane olup kurulu gücü 519,83 MWe düzeyindedir. Türkiye'de üretim lisansına sahip yerli kömür işletme sayısı 27 adet olup lisansa dahil edilen kurulu güç miktarı ise 13.761,89MWe düzeyindedir. Türkiye'de 2020 yılı sonu itibari ile fuel-oil kökenli ön lisans alınmış işletme bulunmamaktadır. Ön lisans durumunda lisanssa dahil edilen kurulu güç ise 0 MWe durumundadır. 2020 yılı sonu itibari ile üretim lisansına sahip işletme sayısı 24 adet olup üretim lisanslı sisteme dahil edilen kurulu güç ise 1.054,51 MWe düzeyinde olmuştur. Türkiye'de 2020 yılı sonu itibari ile doğalgaz kökenli ön lisans alınmış 3 işletme bulunmaktadır. Ön lisans durumunda lisanssa dahil edilen kurulu güç ise 810,75 MWe durumundadır. 2020 yılı sonu itibari ile üretim lisansına sahip işletme sayısı 279 adet olup üretim lisanslı sisteme dahil edilen kurulu güç ise 26.846,70 MWe düzeyinde olmuştur. Türkiye'de uranyum kökenli ön lisansa sahip işletme bunmamaktadır. Dolayısı ile sisteme dahil edilen kurulu güç miktarı da yoktur. 2020 yılının sonu itibari ile uranyum kökenli enerji üretim lisansına sahip işletme sayısı 1 adet olup üretim lisanslı sisteme dahil edilen kurulu güç ise 4.800,00 MWe düzeyinde olmuştur. Türkiye'de 2020 yılı sonu itibari ile üretim lisansına sahip diğer termik santral sayısı 38 tane olup sisteme dahil ettiği kurulu güç ise 889,81 MWe düzeyindedir.

Türkiye'de 2020 yılı enerji kaynakları itibari ile ön lisans alınmış genel toplam 321 işletme bulunmaktadır. Ön lisans durumunda lisanssa dahil edilen kurulu güç ise 10.721,03 MWe düzeyindedir. 2020 yılı sonu itibari ile genel toplam üretim lisansına sahip işletme sayısı 1.782 adet olup üretim lisanslı sisteme dahil edilen kurulu güç ise 111.070,00 MWe düzeyinde olmuştur. Enerji kaynakları itibari ile ön lisans aşamasında

en fazla işletme sayısı biykütle enerjisinde mevcuttur. 2020 yılı sonu itibari ile yenilenebilir enerji işletmeleri arasında ön lisansı alınmış ve sisteme dahil edilen kurulu güç miktarı biyokütle enerjisi, jeotermal enerji ve güneş enerjisinden sisteme daha fazla enerji aktarımı gerçekleştirmektedir. Enerji kaynakları itibari ile üretim lisansı alınmış en fazla sayıda işletme doğalgaz kökenli tesis ve santralleri olup, ikinci sırada biyokütle enerjisi kökenli santral ve tesisler gelmektedir. 2020 yılında üretim lisansına sahip sisteme dahil edilen kurulu güç miktarı yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyoenerji güneş enerjisinden daha fazla katkı sunmuştur. Biyoenerji üretim lisansına sahip sisteme derç edilen kurulu güç anlamında fuel-oil ve yerli kömür, ithal kömür, doğalgaz ile uranyum dışındaki termik santrallere göre sisteme daha fazla katkı sunmuştur.

5.1.Yıllara Göre Biyoenerji Kurulum Gücü Ve Elektrik Üretimindeki Payı

2000 senesinde Türkiye'nin toplam kurulu gücü 27,3 GWh düzeyindedir. Bu değer 2019 senesinin sonu itibari 91,3 GW seviyesine ulaşmıştır. Türkiye'de son senelerde yenilenebilir enerji kaynaklarına ve yerli ve yine alternatif enerji kökenli santrallere teşvikleri bu olumlu düzeydeki ivmeli artışın başlıca sebepleri arasında gelmektedir.

Tablo 21. Yıllara Göre Biyoenerji Kurulu Gücü Ve Elektrik Üretimindeki Payı (ETKB, 2021)

Yıllar	Biyoenerji Kurulu Gücü (MW)	Elektrik Üretimindeki Payı (%)
2004	28	0,07
2005	35	0,08
2006	41	0,09
2007	43	0,11
2008	60	0,11
2009	82	0,17
2010	97	0,22
2011	115	0,20
2012	159	0,30
2013	224	0,49
2014	288	0,57
2015	362	0,67
2016	489	0,86
2017	634	1.00
2018	811	1,19
2019	1163	1,52
2020	1485	1,80

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın verilerine göre yıllara göre biyoenerji kurulum gücü ve elektrik üretimindeki payı Tablo 21'de görülmektedir. Türkiye'nin 2004 yılında toplam biyokütle enerjisi kurulu gücü 28 MWh düzeyinde olup toplam elektrik üretimde %0,07'lik paya sahiptir. 2005 yılında ise Türkiye'nin toplam biyokütle enerjisi kurulu gücü 35 MW olup toplam elektrik üretiminde %0,08'lik bir paya sahiptir. Türkiye'de yıllar ilerledikçe biyokütle enerjisi kurulu gücü de artmaya devam etmiştir. 2017 yılında Türkiye'nin biyokütle enerjisi kurulu gücü 634 MW değerinde olup toplam elektrik üretiminde %1,00'lik paya sahip olmuştur. 2018 yılında Türkiye'nin toplam biyokütle enerjisi kurulu gücü 811 MW düzeyinde olmuş olup ülkedeki toplam elektrik üretiminin %1,19'luk payını temsil etmiştir. Türkiye'de 2018 yılında 2017 yılına göre biyokütle enerjisi kurulu gücünde 177 MW artış olmuş olup toplam elektrik üretimindeki payında %0,19'luk artış gerçekleşmiştir. 2019 yılında Türkiye'nin toplam biyokütle enerjisi kurulu gücü 1163 MW düzeyinde olmuş olup ülkedeki toplam elektrik üretiminin %1,52'lik payını temsil etmiştir. Türkiye'de 2019 yılında 2018 yılına göre biyokütle enerjisi kurulu gücünde 352 MW artış olmuş olup toplam elektrik üretimindeki payında %0,33'lük artış gerçekleşmiştir. 2020 yılında Türkiye'nin toplam biyokütle enerjisi kurulu gücü 1485 MW düzeyinde olmuş olup

ülkedeki toplam elektrik üretiminin %1,80'lik payını temsil etmiştir. Türkiye'de 2020 yılında 2019 yılına göre biyokütle enerjisi kurulu gücünde 322 MW artış olmuş olup toplam elektrik üretimindeki payında %0,28'lik artış gerçekleşmiştir. Türkiye'de en fazla biyokütle enerji kurulu gücü artışı 2018 ile 2019 yılları arasında gerçekleşmiştir. Yine en fazla toplam elektrik üretimindeki pay artışı 2018 ile 2019 yılları arasında yaşanmıştır. Türkiye'de 2007 ve 2008 yıllarında biyokütle enerjisi kurulu gücü ülke çapında artmasına karşın toplam elektrik üretimindeki payı her iki yılda %0,11 düzeyinde kalmıştır. Bunun başlıca sebebi diğer yenilenebilir ve yenilemeyen enerji kaynakları kurulu gücünde yaşanan artış ile açıklanabilir. 2011 yılında Türkiye'nin 2010 yılına göre toplam biyokütle enerjisi kurulu gücü artmış olmasına karşın toplam elektrik üretimindeki payı azalmıştır. Bu durumun temel sebebi de yine diğer enerji kaynaklarının kurulu gücünde meydana gelen artış olmuştur (Güler & Yumurtacı, 2021). Türkiye'nin 2020 yılındaki kurulu gücü 2004 yılına göre 1457 MW'lık artış sağlamıştır. Bir başka ifade ile Türkiye'nin son 16 yılda biyokütle enerjisi toplam kurulu gücü 1457 MW artmıştır. Türkiye'nin biyokütle enerjisinden 2020 yılında toplam elektrik üretimindeki payı 2004 yılındaki toplam elektrik üretimindeki paya göre %1,73'lük bir artış kaydetmiştir.

5.2 Türkiye'de Biyoenerji Santrallerinin Kuruluşlara Göre Güç Ve Santral Sayısı Dağılımı

Türkiye biyokütleden enerji ihtiyacını karşılarken tek bir kuruluştan değil iki farklı kuruluş tipinden enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Serbest üretim şirketlerinin biyokütle santralleri ve lisanssız biyokütle santralleri, Türkiye'deki biyokütle enerjisi toplam kurulu gücünün hemen hemen hepsini oluşturmaktadır.

Tablo 22. 2021 Kasım Ayı Yılı Biyokütle Enerji Santrallerinin Kurulu Güç Dağılımı (Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, 2021)

Kuruluşlar	Kurulu Güç (MW)	Santral Sayısı (Adet)
Eüaş Biyokütle Santralleri	0	0
İşletme Hakkı Devredilen Biyokütle Santralleri	0	0
Yap İşlet Devret Biyokütle Santralleri	0	0
Serbest Üretim Şirketlerinin Biyokütle Santraller	1.451,7	320
Lisanssız Biyokütle Santraller	87,5	56
Türkiyeki Biyokütle Enerjisi Toplam Kurulu Gücü	1.539,2	376

Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı Kurulu Güç Dağılımı Kasım 2021 raporunda kuruluşlara göre biyokütle enerji santrallerinin kurulu güç dağılımı Tablo 22'de paylaşılmıştır. Rapora göre Eüaş biyokütle santralleri, işletme hakkı devredilen biyokütle santralleri ve yap işlet devret biyokütle santrallerinin kurulu gücü ve santral sayısı bulunmamaktadır. Türkiye'de serbest üretim şirketleri biyokütle santrallerinin kurulu gücü 1.451,7MWh olup, santral adedi sayısı ise 320'dir. Türkiye'de lisanssız biyokütle santrallerinin kurulu gücü 87,5 MWh olup santral adedi sayısı ise 56'dır. Türkiye'de serbest üretim şirketlerinin biyokütle enerji santrallerinin ve lisanssız biyokütle santrallerinin toplam sayısı 376 adet olup toplam kurulu gücü 1.539,2 MW değerindedir.

5.3. Lisanssız Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı Ve İhtiyaç Fazlası Olarak Sisteme Verilen Enerji Miktarı

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, 20.05.2019 tarihinde 30772 sayı numarası ile yayınlanmıştır. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'ne göre elektrik talebinin tüketicinin en yakın elektrik üretim tesisinden sağlanabilmesi, lisanssız üretim tesislerinin Türkiye ekonomisine katkı sunması, elektrik üretiminde kaynak zenginleştirme ve farklılaştırma lisanssız elektrik üretiminin temel amaçlarındandır. Aynı zamanda elektrik şebekesinde oluşabilecek kayıpları da en aza indirmek, küçük ölçekli üretim tesislerini daha verimli hale getirmek, enerjide dışa bağımlılığı azaltmak temel amaçlar arasındadır. (Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, 2019).

Tablo 23. Lisanssız Elektrik Kurulu Gücünün Kaynaklara Göre Dağılımı – (EPDK, 2020)

Kaynak	Lisanssız Kurulu Güç (MW)
Güneş	6257,61
Doğalgaz	402,67
Biyokütle	83,71
Rüzgar	70.83
Hidrolik	8,65
Genel Toplam	6832,47

Tablo 23'te Türkiye'nin 2020 yılında lisanssız elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı paylaşılmıştır. Türkiye'nin toplam lisanssız kurulu gücü 2020 yılında 6832,47 MW olarak gerçekleşmiştir. Kaynaklar bazında Türkiye'de en fazla lisanssız kurulu gücü güneş enerjisinde 6257,61 MW düzeyinde bulunmaktadır. Kaynaklar bazında Türkiye'de en fazla ikinci lisanssız kurulu gücü doğalgaz da 402,67 MW düzeyinde bulunmaktadır. Türkiye'de en fazla üçüncü lisanssız kurulu güç ise biyokütle enerjisine aittir. Türkiye'de lisanssız biyokütle enerjisi 83,71 MW düzeyinde bulunmaktadır. Türkiye'de lisanssız kurulu güç olarak 2020 yılında rüzgar enerjisi 70,83 MW düzeyindeyken, hidrolik enerji 8,65 MW düzeyinde kalmıştır.

Tablo 24. 2020 Yılında Lisanssız Üretimin İhtiyaç Fazlası Olarak Sisteme Verdiği Enerji Miktarı (EİGM Raporları)

Kaynak	İhtiyaç fazlası olarak sisteme verilen enerji miktarı (MWh)	Oran (%)
Güneş	10.825.501,52	96,27
Biyokütle	273.446,13	2,43
Rüzgar	119.466,89	1,06
Hidrolik	27.066,66	0,24
Genel Toplam	11.245.481,50	100

2020 yılında lisanssız üretimin ihtiyaç fazlası olarak sisteme verdiği enerji miktarı Tablo 24'te paylaşılmıştır. Türkiye güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, rüzgar enerjisi ve hidroelektrik lisanssız üretimde enerjisi itibari ile ihtiyaç fazlası olarak sisteme verilen enerji miktarları arasında en fazla pay güneş enerjisine aittirr. İkinci sırada biyokütle enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisi 2020 yılında lisanssız üretimin ihtiyaç fazlası olarak sisteme verdiği enerji miktarı 10.825.501,52 MWh düzeyinde gerçekleşmiş olup %96,2'lik bir paya sahiptir. Biyokütle enerjisi 2020 yılında lisanssız üretimin ihtiyaç fazlası olarak sisteme verdiği enerji miktarı 273.446,13 MWh

düzeyinde gerçekleşmiş olup %2,43'lük bir paya sahiptir. Rüzgar enerjisi 2020 yılında lisanssız üretimin ihtiyaç fazlası olarak sisteme verdiği enerji miktarı 119.466,89 MWh düzeyinde gerçekleşmiş olup %1,06'lik bir paya sahiptir. Hidrolik enerjisi 2020 yılında lisanssız üretimin ihtiyaç fazlası olarak sisteme verdiği enerji miktarı 27.066,66 MWh düzeyinde gerçekleşmiş olup %0.24'lük bir paya sahip olmuştur. Türkiye'nin güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerjisi toplam 2020 yılında lisanssız üretimin ihtiyaç fazlası olarak sisteme verdiği enerji miktarı 11.245.481,50 MWh düzeyinde gerçekleşmiştir.

5.4. Enerji Santrallerinin Emre Amadelik Oranı, Ortalama Çalışma Oranı ve Kapasite Faktörü

Enerji santrallerinde emre amadelik oranı, ortalama çalışma oranı ve kapasite faktörü, santrallerin ve işletmelerin performans göstergeleri açısından önemli bir parametredir. Bu parametreler belirli bir periyot baz alınarak oluşturulur. Aylık değerler referans alınacağı gibi yıllık değerler de referans alınabilir. Genel itibari ile yıllık değerler enerji tesisi ve enerji santralleri tarafında daha fazla tercih edilir.

5.4.1. Emre Amadelik Oranı

Emre amadelik oranı, yenilenebilir veya yenilenemez kaynaklı bir enerji santralinin elektrik üretebileceği bütün toplam süre miktarının, toplam zamana oranlanması ile elde edilen kavramdır. Enerji santrallerinin elektrik üretimindeki işletme performansını belirleyen bir etken olarak da emre amadelik oranı değerlendirilmektedir.

Aşağıdaki Tablo 25'te Türkiye'de yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları itibari ile enerji santrallerinin 2018-2025 yılları arasındaki emre amadelik oranları ve öngörüleri yüzdesel olarak görülmektedir. 2021 yılı, 2022 yılı, 2023 yılı, 2024 yılı ve 2025 yıllarının emre amadelik oranları 2018 yılı, 2019 yılı, 2020 yıllarının emre amadelik oranlarının eğilimleri baz alınarak hesaplanmıştır. Ön görülen 2021 yılı, 2022 yılı, 2023 yılı, 2024 yılı ve 2025 yıllarının emre amadelik oranları basit kayar tahmin yöntemi ile hesaplanmıştır (TEİAŞ, 2021).

Tablo 25. 2018-2025 Yılları Arasındaki Emre Amadelik Yüzdelik Oranları (TEİAŞ 2021)

Kaynak	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Barajlı	75,19	79,08	76,14	76,80	77,34	76,76	76,97	77,02
Akarsu	25,54	32,81	28,21	28,85	29,96	29,01	29,27	29,41
Doğalgaz	69,65	71,29	65,92	68,95	68,72	67,86	68,51	68,37
Yerli Kömür	50,99	57,60	41,3	49,87	49,5	46,80	48,73	48,34
İthal Kömür	78,48	77,91	77,49	77,96	77,79	77,75	77,83	77,79
Jeotermal	72,29	78,22	81,79	77,43	79,15	79,46	78,68	79,09
Biyokütle	59,31	62,31	71,68	64,43	66,14	67,42	66,00	66,52
Nükleer	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,00	85,00	85,00
Rüzgar	80,60	31,95	34,13	48,89	38,32	40,45	42,56	40,44
Güneş	17,60	18,20	20,00	18,60	18,93	19,18	18,90	19,00
Toplam	58,88	51,92	57,51	56,10	55,18	56,26	55,85	55,76

Emre amadelik oranını etkileyen en önemli parametre arıza durumlarıdır. Arıza durumlarına karşı alınacak koruyucu tedbirler, santral veya tesisin arıza durumunda kısa müdahale etme süresi, arıza tekrarlanmaması için gerekli bakımlar enerji santrallerinin emre amadelik oranını ve işletmenin performansını arttıran başlıca çözüm yöntemlerindendir. Emre amadelik oranını etkileyen arıza dışı etkenler ise yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre farklılık göstermek ile birlikte güneşlenme sürelerinde azalma, yağışlar, yakıt kalitesindeki yetersizlikler, rüzgâr esme sıklığı ve hızındaki düzensizlikler başta olmak üzere emre amadelik kapasitesini etkileyen en önemli parametrelerin başında gelmektedir (Erdil & Özkaya, 2019).

2018 yılında yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar itibari ile tüm kaynaklardan toplam elektrik üretim emre amadelik oranı %58,88 olmuştur. 2018 yılında emre amadelik oranı yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar itibari ile en yüksek gerçekleşen %80 ile rüzgarda gerçekleşirken, ikinci sırada %78,48 oran ile ithal kömürde gerçekleşmiştir. Türkiye de 2018 yılında nükleer enerji santrallerinden enerji üretim gerçekleşmediği için emre amadelik oranı da tespit edilememiştir. 2018 yılında en düşük emre amadekik oranı kaynaklar itibari ile güneş enerjisinde %17,60'lık bir oranla gerçekleşmiştir. Türkiye'de 2018 yılında biyokütle enerjisi emre amadelik oranı ise %59,31 olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye'de 2019 yılında yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları ile enerji santrallerinin toplam emre amadelik oranı %51,92 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'de bütün birincil enerji kaynakları itibari ile emre amadelik oranı en yüksek enerji kaynağı barajlı hidroelektrik santralleridir. Barajlı hidroelektrik enerji santrallerinin 2019 yılında emre amadelik oranı ise %79,08 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'de birincil enerji kaynakları itibari ile emre amadelik oranı en yüksek ikinci enerji %78,22 ile jeotermal enerji santrallerinde gerçekleşmiş olup üçüncü sırada ithal kömür %77,91 ile gelmektedir. Türkiye'de nükleer enerjiden elektrik üretimi gerçekleşmediği için emre amadelik oranı da tespit edilememiştir. 2019 yılında da en düşük emre amadelik oranı %18,20 ile güneş enerji santrallerinde tespit edilmiştir. 2019 yılında biyokütle enerjisi emre amadelik oranı %62,31 olarak gerçekleşmiştir. Biyokütle santrallerinin 2018 yılına göre emre amadelik oranı 2019 yılında %3 oranında artış meydana gelmiştir.

2020 yılında yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar itibari ile tüm kaynakların toplam elektrik üretim emre amadelik oranı %57,51 olmuştur. 2020 yılında emre amadelik oranı yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar itibari ile en yüksek gerçekleşen %81,79 ile jeotermal enerji santrallerinde gerçekleşirken en yüksek ikinci emre amadelik oranı %77,49 ile ithal kömürde gerçekleşmiştir. Türkiye'de 2020 yılında nükleer enerjiden emre amadelik oranı tespit edilememiştir. Emre amadelik oranı 2020 yılında birincil enerji kaynakları itibari ile en düşük gerçekleşen % 20 ile güneş enerjisi santrallerinde gerçekleşmiştir. 2020 yılında biyokütle enerji santrallerinin enreamadelik oranı ise %71,68 olarak gerçekleşmiştir. 2019 yılında biyokütle santrallerinin emre amadelik oranı 2018 yılına göre %9,37'lik bir artış gerçekleştirmiştir.

2021 yılında Türkiye'de birincil enerji kaynakları itibari ile tüm kaynakların toplam emre amadelik oranı %56,10 olarak ön görülmüştür. Türkiye'de 2021 yılında planlanan birincil enerji kaynakları itibari ile emre amadelik oranı en yüksek %77,96 ile ithal kömürden elde edilen termik santrallerde planlanırken en yüksek ikinci emre amadelik oranı %77,43 ile jeotermal enerji santrallerinde olduğu ön görülmüştür. 2021 yılında nükleer enerjiden henüz elektrik üretimi planlanmağı için emre amadelik oranı da tespit edilememiştir. 2021 yılında biyokütle enerjisi santralleri için öngörülen düzey %64,43'lük düzeyde gerçekleşmiştir. Türkiye'de biyokütle santrallerinde 2021 yılında

öngörülen emre amadelik miktarı 2020 yılında gerçekleşen emre amadelik miktarına göre %7,25'lik bir azalma olacağı öngörülmektedir.

Türkiye'de 2022 yılında birincil enerji kaynaklarının toplam elektrik üremindeki emre amadelik oranı %55,18 olarak gerçekleşeceği öngörülmüştür. 2022 yılında planlanan birincil bütün enerji kaynaklarının emre amadelik oranı en yüksek %79,15 ile jeotermal enerji santrallerinde gerçekleşeceği öngörülmektedir. Kaynaklar itibari ile en yüksek ikinci emre amadelik oranı %77,79 ile ithal kömür kökenli termik santrallerde gerçekleşmesi planlanmaktadır. Türkiye'de 2022 yılında planlanan biyoenerji santrallerinin emre amadelik oranı %66,14 olarak olacağı öne sürülmektedir. Türkiye'de 2022 yılında planlanan biyokütle santrallerinin emre amadelik oranı 2021 yılında planlan emre amadelik oranına göre %1,71'lik bir artış öngörülmektedir.

Türkiye'de 2023 yılında planlanan birincil kaynakların emre amadelik oranı toplam %56,26 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye'de birincil kaynaklar itibari ile %85'lik emre amadelik oranı ile nükleer enerji ilk sırada yer almaktadır. Birincil kaynaklar itibari ile Türkiye'de en fazla ikinci emre amadelik oranı %79,46'lık oranla jeotermal enerjisi olmuştur. Türkiye'de 2023 yılında öngörülen en düşük emre amadelik oran %19,18 ile güneş enerjisinde ön görülmüştür. Türkiye'de 2023 yılında biyokütle enerjisinin öngörülen emre amadelik oranı ise %67,42 düzeyinde olmuştur. Biyokütle santrallerinin 2023 yılında öngörülen emre amadelik oranı 2022 yılına göre %1,28 düzeyinde artmıştır.

Türkiye 2024 yılında birincil enerji kaynaklarının toplam öngörülen emre amadelik oranı %55,85 düzeyinde gerçekleşmiştir. 2024 yılında Türkiye'de kaynaklar itibari ile en fazla emre amadelik oranına %85,00 ile nükleer enerji ilk sıra gelmektedir. İkinci sırada ise %78,88'lik oran ile jeotermal enerji santralleri gelmektedir. Türkiye'de yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları itibari ile öngörülen en düşük emre amadelik oranı %18,90 ile güneş enerjisinde gerçekleşeceği ön görülmektedir. Türkiye'de 2024 yılında biyokütle enerjisinin emre amadelik oranı %66,00 olarak gerçekleşeceği planlanılmaktadır. Biyokütle santrallerinde 2024 yılında öngörülen emre amadelik oranı 2023 yılına göre %1,42'lik azalış olacağı ön görülmektedir.

Türkiye'de 2025 yılında birincil enerji kaynaklarına göre toplam emre amadelik oranı %55,76 düzeyinde olacağı ön görülmektedir. 2025 yılında emre amadelik oranı yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar itibari ile en yüksek gerçekleşen %85,00 ile nükleer enerjide gerçekleşmesi planlanırken en yüksek ikinci emre amadelik oranı %79,09 ile jeotermal enerjide gerçekleşmesi öngörülmektedir. 2025 yılında emre amadelik oranında en düşük güneş enerjisinde %19 ile gerçekleşmesi planlanmaktadır (TEİAŞ, 2021). 2025 yılında planlanan biyokütle enerjisi emre amadelik oranı ise %66,52 düzeyinde olmuştur. Biyokütle sanralleri için 2025 yılında emre amadelik oranı 2024 yılına göre %0,52 lik artış sağlamıştır.

5.4.2. Kapasite Faktörü

Kapasite faktörü, enerji santrallerinin belli bir zaman diliminde ürettiği toplam elektrik miktarının tam kapasitede üretebileceği elektrik miktarına olan oranı olarak ifade edilir (EPDK, 2021).

Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 18.06.2020 tarihli toplantısında 9395 Karar numaralı alınan kurul kararında, yenilenebilir enerji kaynaklı enerji santrallerindeki elektrik üretimindeki kapasite faktörleri ve yıllık çalışma saatleri belirlenmiştir. Mevcut durumda da uygulamada olan EPDK'nın belirlediği enerji santral ve tesislerin kapasite faktörlerine ve yıllık çalışma saatlerine ilişkin güncelleme 25.06.2020 tarihinde 31166 sayılı karar ile yayınlanmıştır.

Tablo 26. Enerji Santrallerinin Yıllık Çalışma Saati Ve Kapasite Faktörleri (EPDK, 2020)

Kaynak	Yıllık Çalışma Saati	Kapasite Faktörü (%)
Rüzgar	4000	45
Güneş	2000	22,8
Biyokütle	7500	85
Jeotermal	8000	92

Tablo 26'da enerji santrallerinin yıllık çalışma saati ve kapasite faktörleri verilmiştir. Enerji Piyasa Denetleme Kurulu'nun Haziran 2020 tarihli Kurul Kararı'na göre rüzgar enerjisi kökenli santrallerin yıllık en çok üretim miktarı 4000 saat düzeyinde olup kapasite faktörü %45'lik orana karşılık gelen üretim miktarı olarak

varsayılmıştır. Türkiye'de göre güneş enerjisi kökenli santrallerin yıllık en çok üretim miktarı 2000 çalışma saati düzeyinde olup kapasite faktörü %22,8'lik orana karşılık gelen üretim miktarı olarak kabul edilmiştir. Türkiye'de göre jeotermal enerjisi kökenli santrallerin yıllık en çok üretim miktarı 8000 çalışma saati düzeyinde olup kapasite faktörü %92'lik orana karşılık gelen üretim miktarı olarak kabul edilmiştir. Jeotermal enerjisi santrallerinin yenilenebilir enerji kaynakları arasında en fazla çalışma saatine ve en yüksek kapasite faktörüne sahip enerji santralleri olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'de biyokütle enerji santrallerinin yıllık en çok üretim miktarı 7500 çalışma saati olarak belirlenmiştir. Biyokütle enerji santralleri kara ve deniz rüzgar enerji santralleri ve güneş enerji santrallerine göre yıllık çalışma saati anlamında üstünlük kurmuştur. Türkiye'de biyokütle enerji santrallerinin kapasite faktörü yıllık olarak %85'lik bir orana sahip olduğu EPDK'nın Haziran 2020'de almış olduğu kurul kararı ile belirlenmiştir. Türkiye'de biyokütle enerji santrallerinin kurulu gücü, rüzgar enerji santrallerinin kurulu gücüne göre daha düşük düzeyde olmasına karşın kapasite faktörü anlamında biyokütle enerji santrallerinin üstünlüğü göze çarpmaktadır. Biyokütle enerji santralleri yıllık çalışma saati ve kapasite faktörü anlamında yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerji santrallerinden sonra ikinci sırada gelmektedir.

5.4.3. Ortalama Çalışma Oranı

Çalışma oranı, santrallerin belli bir zaman dilimi içinde elde ettiği toplam enerji miktarının bütün kapasitede elde edebileceği enerjiye oranı olarak tanımlanır (TEİAŞ, 2021). Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. 2021-2025 üretim projeksiyonunda kaynaklara göre enerji santrallerinin ortalama çalışma süreleri paylaşılmıştır.

Tablo 27. 2016-2020 Yılları Arasındaki Santrallerin Ortalama Çalışma Oranları (%) (TEİAŞ, 2021)

YILLAR	YENİLENEBİLİR ENERJİ										TERMİK		TOPLAM KURULU GÜÇ (MW)
	RÜZGAR		GÜNEŞ		HİDROLİK		JEOTERMAL		BİYOKÜTLE				
	KURULUGÜÇ (MW)	ORTALAMA ÇALIŞMA ORANI(%)	KURULU GÜÇ (MW)	ORTALAMA ÇALIŞMA ORANI(%)	KURULU GÜÇ(MW)	ORTALAMA ÇALIŞMA ORANI(%)	KURULUGÜÇ (MW)	ORTALAMA ÇALIŞMA ORANI(%)	KURULU GÜÇ(MW)	ORTALAMA ÇALIŞMA ORANI (%)	KURULUGÜÇ (MW)	ORTALAMA ÇALIŞMA ORANI(%)	
2016	5.751	30,8	833	14,3	26.681	28,8	821	67,0	373	40,8	44.412	47,8	**78.497**
2017	6.516	31,4	3.421	9,6	27.273	24,4	1.064	65,8	493	41,3	46.926	51,6	**85.200**
2018	7.005	32,5	5.063	17,6	28.291	24,2	1.283	66,1	659	42,3	46.909	51,0	**88.551**
2019	7.591	32,8	5.995	18,2	28.503	35,6	1.515	67,3	801	44,4	47.663	41,9	**91.267**

Tablo 27'ye bakıldığında 2016-2020 yılları arasındaki santrallerin yıllık ortalama çalışma oranları oranları görülmektedir. TEİAŞ 2021-2025 üretim projeksiyonunda yer alan yıllık çalışma oranları güneş enerji santralleri, rüzgar enerjisi santralleri, hidrolik enerji santralleri, jeotermal enerji santralleri, biyokütle enerjisi santralleri ile birlikte termik santralleri için değerlendirilmiştir.

Türkiye'de 2016 yılında rüzgar enerjisinin kurulu gücü 5.751 MW düzeyinde olup ortalama çalışma oranı %30,8 düzeyinde olmuştur. 2017 yılında rüzgar enerjisine dayalı toplam kurulu güç 6.516 MW düzeyinde gerçekleşmiş olup ortalama çalışma oranı %31,4 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye'nin rüzgar enerjisine dayalı kurulu gücü 2018 yılında artmaya devam etmiş ve 7.005 MW düzeyine ulaşmıştır. Türkiye'de rüzgar enerjisine dayalı santrallerde ortama çalışma oranı %32,5 düzeyinde olmuştur. Türkiye' 2019 yılında rüzgar enerjisinin toplam kurulu gücü 7.591 MW düzeyinde olmuş olup 2019 yılında ortama çalışma oranı %32,8 düzeyinde gerçekleşmiştir. 2020 yılında Türkiye'de rüzgar enerjisine dayalı kurulu güç 8.832 MW olmuş olup rüzgar enerjisine dayalı santral ve tesislerin ortama çalışma oranı %32,1 düzeyinde olmuştur. Türkiye'de 2016 yılından 2020 yılı sonuna kadar rüzgar enerjisine dayalı santrale tesisleri kurulu gücü sürekli artış göstermiştir. Benzer şekilde Türkiye'de 2016 yılından başlayarak 2017, 2018 ve 2019 yılları da dahil olmak üzere ortalama çalışma oranı da artış kaydetmiştir. 2020 yılında rüzgar enerjisine dayalı santrallerin üretimdeki yıllık çalışma oranında azalış göstermektedir.

Türkiye'de 2016 yılında güneş enerjisi santrallerinin kurulu gücü 833 MW düzeyinde olup ortalama çalışma oranı %14,3 düzeyinde olmuştur. 2017 yılında güneş enerjisine dayalı toplam kurulu güç 3.421 MW düzeyinde gerçekleşmiş olup ortalama çalışma oranı %9,6 düzeyinde gerçekleşmiştir. Aynı şekilde Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin kurulu gücü 2018 yılında 5.063 MW, 2019 yılında 5.995 MW ve 2020 yılında ise 6.668 MW düzeyinde gerçekleşerek sürekli artış eğiliminde olmuştur. Türkiye'de güneş enerjisi santrallerinin ortalama çalışma oranı 2018 yılında %17,6, 2019 yılında %18,2, 2020 yılında ise %19,9 düzeyinde gerçekleşerek sürekli artış eğiliminde olmuştur. Güneş enerjisine dayalı enerji üretiminin yıllık ortama çalışma oranı sadece 2017 yılında azalış gözlemlenmiştir.

Türkiye'de hidroelektrik enerji santrallerinin 2016 yılında kurulu gücü 26.681 MW düzeyinde olmuş olup ortama çalışma oranı %28,8 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye'de 2017 yılında hidroelektrik enerjisine dayalı kurulu güç 27.273 MW düzeyinde gerçekleşmiş olup santrallerin ortalama çalışma oranları %24,4 olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılında Türkiye'nin hidroelektrik enerjisinin kurulu gücü 28.291 MW düzeyinde olup yıllık ortalama çalışma oranı %24,2 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'de 2019 yılında hidroelektrik santrallerin kurulu gücü 28.503 MW düzeyinde olup enerji üretiminde yıllık ortama çalışma oranı %35,6 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'nin hidroelektrik enerjisine dayalı santrallerinin 2020 yılında kurulu gücü 30.984 MW düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye'nin hidroelektrik santrallerin enerji üretiminde yıllık ortalama çalışma oranı %28,8 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'de 2016, 2017, 2018, 2019 ve 2020 yılları itibari ile hidroelektrik santrallerin yıllık kurulu güçleri sürekli artış eğiliminde olmuştur. Türkiye'de 2016 yılından başlayarak 2020 yılı da dahil olmak üzere hidroelektrik santrallerin yıllık ortalama çalışma oranları düzensiz bir şekilde sürekli bir değişim göstermiştir.

Türkiye'de 2016 yılında jeotermal enerjisinin kurulu gücü 821 MW düzeyinde olurken yıllık ortalama çalışma oranı da %67,0 düzeyinde olmuştur. 2017 yılında ise jeotermal enerjisine dayalı toplam kurulu güç 1.064 MW düzeyinde gerçekleşmiş olup yıllık ortalama çalışma oranı %65,8 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye'nin jeotermal enerjisine dayalı kurulu gücü 2018 yılında artmaya devam etmiş ve 1.283 MW düzeyine ulaşmıştır. Yıllık ortama çalışma oranı ise %66,1 düzeyinde olmuştur. 2019 yılında jeotermal enerjisinin toplam kurulu gücü 1.515 MW düzeyinde olmuş olup ortama çalışma oranı da %67,3 düzeyinde gerçekleşmiştir. 2020 yılında Türkiye'de jeotermal enerjisine dayalı kurulu güç 1.613 MW olurken ortama çalışma oranı %70,4 düzeyinde olmuştur. Türkiye'de 2016 yılından 2020 yılı sonuna kadar jeotermal enerjisine dayalı santrallerin kurulu gücü sürekli artış göstermiştir. Sadece 2017 yılında jeotermal enerjisine dayalı santrallerin yıllık ortama çalışma oranı azalmıştır. 2018, 2019 ve 2020 yılları dahil olmak üzere jeotermal enerjisine dayalı santrallerin üretimde yıllık ortalama çalışma oranı sürekli artış kaydetmiştir.

%70'in üzerinde enerjide dışa bağımlı olan Türkiye'nin en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan biyokütle enerjisinin 2016 yılında toplam kurulu gücü

373 MW düzeyinde olup yıllık ortama enerji üretiminde çalıma oranı %40,8 düzeyinde gerçekleşmiştir. 2017 yılında biyokütle enerjisinin toplam kurulu gücü 493 MW olup biyokütle enerjisine dayalı santrallerin üretimde yıllık ortalama çalışma oranı %41,3 düzeyinde olmuştur. 2016 yılına göre 2017 yılında biyoenerji santral ve tesislerinde enerji üretimi anlamında ortalama çalışma oranı %0,5'lik artış gerçekleştirmiştir. Türkiye'nin biyokütle enerjisinin 2018 yılında toplam kurulu gücü 659 MW düzeyinde olup yıllık ortama enerji üretiminde çalışma oranı %42,3 düzeyinde gerçekleşmiştir. Biyokütleden enerji üretiminde 2018 yılında 2017 yılına göre yıllık ortalama çalışma oranında tam %1'lik artış kaydedilmiştir. 2019 yılında biyokütle santrallerinin toplam kurulu gücü 801 MW düzeyinde olup yıllık ortama enerji üretiminde çalışma oranı %44,4 düzeyinde gerçekleşmiştir. Biyokütleden enerji üretiminde 2019 yılında 2018 yılına göre ortalama çalışma oranında %1,1'lik artış gerçekleşmiştir. 2020 yılında biyokütle enerjisinin kurulu gücü 1.116 MW düzeyinde gerçekleşmiş olup üretimde yıllık çalışma oranı %45,4 düzeyinde gerçekleşmiştir. Yıllık çalışma oranında 2019 yılına göre 2020 yılında %1'lik artış meydana gelmiştir. Türkiye' kurulu güç anlamında 2016, 2017, 29018, 2019 ve 2020 yılları itibari ile biyoenerjinin kurulu gücü devamlı artış eğilimindedir. Türkiye'de rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerjisi, güneş enerjisi ve jeotermal enerjiye göre daha düşük kurulu güce sahip olan biyokütle enerjisi yıllık ortalama çalışma oranı itibari ile sürekli artış eğiliminde olan tek yenilenebilir enerji kaynağı durumundadır. 2017 yılında yenilenebilir enerji kaynakları itibari ile 2016 yılına göre en fazla yıllık ortalama çalışma oranında artış biyokütele enerjisinde görülmüştür.

Türkiye'de 2016 yılında termik santrallerin kurulu gücü 44.412 MW düzeyinde olmuştur. 2016 yılında termik santrallerin yıllık ortalama çalışma oranı %47,8 düzeyinde olmuştur. Türkiye'nin 2017 yılında termik santrallerinin kurulu gücü 46.926 MW düzeyinde gerçekleşmiş olup yıllık ortama çalışma oranı %51,6 olmuştur. 2018 yılında ise termik santrallerinin kurulu gücü 46.909 MW düzeyindeyken yıllık ortama çalışma oranı %51,0 olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılında 2017 yılına göre Türkiye'de bulunan termik santrallerinin toplam kurulu gücünde ve ortama çalışma oranında bir miktar azalma olduğu görülmüştür. 2019 yılında termik santrallerin toplam kurulu gücü 47.663 MW düzeyinde olmuş olup yıllık ortalama çalışma oranı %41,9 olarak gerçekleşmiştir. 2020 yılında ise termik santrallerin toplam kurulu gücü 46.677 MW

düzeyinde olmuş olup yıllık çalışma oranı %42,2 olarak gerçekleşmiştir. 2020 yılında 2019 yılına göre kurulu gücü azalmasına karşın yıllık çalışma oranı artış göstermektedir.

5.5. Türkiye'nin En Büyük Kurulu Güce Sahip Biyokütle Kökenli ve Biyogaz Enerji Santralleri

IEA 2021 Türkiye raporuna göre ülkemizin toplam biyoenerji potansiyelinin takribi olarak 8,6 Mtoe düzeyinde olduğu öngörülmektedir. Bu değer yaklaşık 100 TWh'e eşdeğer durumdadır. Bunun yaklaşık yüzde yirmisi biyogaz üretimi amaçlı kullanılabilmektedir.

Tablo 28. Türkiye'de En Büyük Biyogaz, Biyokütle, Atık Isı Ve Pirolitik Yağ Enerji Dahil Olmak Üzere Devredeki Kurulu Gücü En Büyük Enerji Santralleri (Enerji Atlası, 2019)

Santral İsmi	İl	Kurulu Gücü (MW)
Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	34
Toros Tarım Samsun Atık Isı Santrali	Samsun	31
Mutlular Biyokütle Santrali	Balıkesir	30
ITC Antalya Biyokütle Santrali	Antalya	25
Çadırtepe Biyokütle Santrali	Ankara	23
İBB Biyokütle Santrali	İstanbul	20
Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	17
Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	16
Akçansa Çimento Atık Isı Santrali	Çanakkale	15
Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	14

Türkiye'de kurulu gücü en büyük biyogaz, biyokütle, atık ısı ve pirolitik yağ enerji dahil olmak üzere devredeki on enerji santrali Tablo 29'da paylaşılmıştır. Türkiye'de biyokütle enerjisi kaynaklı en büyük kurulu güce sahip enerji santrali İstanbul'da bulunan Odayeri Çöp Gazı Santrali'dir. Odayeri Çöp Gazı Santrali'nin kurulu gücü 2021 yılının Aralık ayı itibari ile 34 MW düzeyindedir. Türkiye'de biyokütle enerjisi kaynaklı en büyük ikinci kurulu güce sahip enerji santrali ise Samsun'da bulunan Toros Tarım Samsun Atık Isı Santrali'dir. Bu santralin kurulu gücü 2021 yılının Aralık ayı itibari ile 31 MW düzeyindedir. Türkiye'de biyokütle enerjisi

kaynaklı en büyük üçüncü kurulu güce sahip enerji santrali Balıkesir'de bulunan Mutlular Biyokütle Santrali'dir. Mutlular Biyokütle Santrali'nin kurulu gücü 2021 yılının Aralık ayı itibari ile 30 MW düzeyindedir. Türkiye'de biyokütle enerjisi kaynaklı en büyük dördüncü kurulu güce sahip enerji santrali ise Antalya'da bulunan ITC Antalya Biyokütle Santrali'dir. ITC Antalya Biyokütle Santrali'nin kurulu gücü 2021 yılının aralık ayı itibari ile 25 MW düzeyindedir.

Tablo 29. Türkiye'de Faaliyette Olan En Büyük 10 Biyogaz Enerji Santrali (Enerji Atlası, 2019)

Santral İsmi	Şehir	Kurulu Güç
Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	34 MW
Mutlular Biyokütle Santrali	Balıkesir	30 MW
Çadırtepe Biyokütle Sanrali	Ankara	23 MW
İBB Biyokütle Santrali	İstanbul	20 MW
Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	17 MW
Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	16 MW
Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	14 MW
Bağfaş Gübre Fabrikası Biyogaz Santrali	Balıkesir	9,92 MW
Hamitler Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bursa	9,80 MW
Avdan Biyogaz Tesisi	Samsun	8,40 MW

Tablo 29'da Türkiye'de faaliyette olan en büyük 10 biyogaz enerji santrali'nin kurulu gücü görülmektedir. Türkiye'de biyogaz kaynaklı en büyük kurulu güce sahip enerji santrali İstanbul'da bulunan Odayeri Çöp Gazı Santrali'dir. Kurulu gücü 34 MW düzeyindedir. Türkiye'de biyogaz kaynaklı en büyük ikinci kurulu güce sahip enerji santrali Balıkesir'de bulunan Mutlular Biyokütle Santrali'dir. Mutlular Biyokütle Santrali'nin kurulu gücü 2021 yılının Aralık ayı itibari ile 30 MW düzeyindedir. Türkiye'de biyogaz kaynaklı en büyük üçüncü kurulu güce sahip enerji santrali Ankara'da bulunan Çadırtepe Biyokütle Santrali'dir. Bu santralin kurulu gücü 23 MW düzeyindedir.

5.6. 2021-2025 Yıllarında Devreye Girecek Santrallerin Kurulu Güç Değerleri Projeksiyonu

Türkiye enerji tüketimine olan talebi karşılamak amacı ile yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarını çeşitlendirme, yerli üretimi arttırma, dışa bağımlılığı azaltma stratejisi izlemektedir. İzlenen bu strateji kapsamında TEİAŞ düzenli olarak

geçmişten günümüze değerlendirmelerin yapıldığı ve gelecekteki güç değerleri, üretim miktarları ve enerji talep miktarlarının olduğu düzenli olarak üretim projeksiyonları yayınlamaktadır.

Tablo 30. 2021-2025 Yıllarında Devreye Girecek Santrallerin Kurulu Güç Değerleri (MW) (TEİAŞ 2021)

YAKIT/ KAYNAK	GENEL TOPLAM (MW)					Toplam (MW)
	2021	2022	2023	2024	2025	
Linyit	435,6	0,0	135,1	2.817,8	5.250,0	8.638,4
Taş Kömür	203,9	0,0	0,0	0,0	0,0	203,9
İthal kömür	9.900,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9.900,0
Doğalgaz	1.078,9	350,0	350,0	350,0	350,0	2.478,9
Uranyum	0,0	0,0	8.697,5	8.697,5	8.697,5	26.092,5
Fuel-Oil	58,4	0,0	0,0	0,0	0,0	58,4
Jeotermal	799,2	1.934,6	1.022,0	0,0	0,0	3.755,8
Biyokütle	5.324,2	70,0	70,0	70,0	70,0	5.604,2
Hidrolik	1.250,2	1.959,8	1.053,7	455,6	436,8	5.156,2
Güneş	2.503,8	2.340,0	2.340,0	2.340,0	1.440,0	10.963,8
Rüzgar	2.798,1	3.005,8	705,1	968,1	1.340,1	8.817,3
TOPLAM	**24.352,3**	**9.660,2**	**14.373,4**	**15.699,0**	**17.584,4**	**81.669,4**

TEİAŞ'ın yayınladığı 2021-2025 üretim projeksiyonunda 2021-2025 yıllarında devreye girecek santrallerin güvenilir üretim değerleri Tablo 30'da belirtilmiştir. Linyit termik santrallerinin 2021 yılı sonu itibari ile devreye girecek enerji üretim miktarı 435,6 MW düzeyindedir. Türkiye'de 2022 yıllında devreye girecek linyit termik santrali öngörülemeyip linyit termik santrallerinden mevcut üretime ilave olmayacağı planlanmaktadır. 2023 yılında devreye girecek linyit santrallerinin enerji talebinin karşılanmasına 135,1 MW katkı sunacağı öngörülmüştür. Türkiye linyit termik santrallerinin mevcut üretime katkısı 2024 yılında 2.817,8 MW düzeyindedir. Bu katkı 2025 yılında 5.250,0 MW düzeyine ulaşacaktır. Türkiye'de 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girecek olan linyit termik santrallerinin toplam enerji üretim değeri 8.638,4 MW düzeyindedir. Türkiye'de taş kömürü termik santrallerinin 2021 yılı itibari ile devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 203,9 MW düzeyindedir. Türkiye'de 2022, 2023, 2024 ve 2025 yıllarında devreye girecek taş kömürü termik santrali öngörülemeyip taş kömürü termik santrallerinden mevcut üretime ilave katkı olmayacağı planlanmaktadır.

Türkiye'de ithal kömürü termik santrallerinin 2021 yılı sonu itibari ile devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 9.900 MW düzeyindedir. Türkiye'de 2022, 2023, 2024 ve 2025 yıllarında ithal kömür kökenli termik santrallerinden ilave enerji üretimi öngörülememiştir. Türkiye'de 2021 yılı sonu itibari ile doğalgaz termik santrallerinin mevcut üretimine ilave olarak 1.078,9 MW düzeyinde katkı sunması planlanmaktadır. 2022 ve 2025 yılları arasında doğalgaz termik santrallerinin her yıl mevcut enerji üretimine ilave olarak 350 MW düzeyinde katkı sunması planlanmaktadır. 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girecek olan doğal gaz termik santrallerinden toplam enerji üretim değeri 2.478,9 MW düzeyinde olacağı planlanmaktadır.

Türkiye'de uranyum kökenli santrallerinde 2021 ve 2022 yılları sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı bulunmamaktadır. 2023 ve 2025 yılları arasında uranyum kaynaklı santrallerinden her yıl mevcut enerji üretimine ilave olarak 8.697,5MW düzeyinde katkı sunması planlanmaktadır. Türkiye'de 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girecek olan uranyum kökenli santrallerinin toplam enerji üretim değerinin 26.092,5MW düzeyinde olacağı planlanmaktadır.

Türkiye'de fuel-oil kökenli santrallerden 2021 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak girilecek toplam enerji üretim miktarı 58,4 MW düzeyindedir. Türkiye'de 2022 ve 2025 yılları arasında ful-oil kökenli santrallerden sisteme ilave olarak enerji üretimi planlanmamıştır. Böylece 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girecek olan fuel-oil kökenli santrallerden toplam enerji üretim değeri 58,4 MW düzeyinde olacağı planlanmaktadır.

Türkiye'de jeotermal santrallerinden 2021 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girecek toplam enerji üretim miktarı 799,2 MW düzeyindedir. Jeotermal enerji santrallerinde 2022 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 1.934,6 MW olarak planlanmaktadır. 2023 yılı sonu itibari ile ise devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 1.022,0 MW olarak planlanmaktadır. 2024 ve 2025 yılları sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı bulunmamaktadır. Böylece 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girecek olan jeotermal kökenli santrallerinden toplam enerji üretim değeri 3.755,8MW düzeyinde olacağı öngörülmektedir.

Türkiye'de biyokütle enerji santrallerinde 2021 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 5.324,2 MW düzeyindedir. Bu değer 2021 yılında devreye girilecek toplam enerji üretim miktarının %0,02 payına denk gelmektedir. 2022 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 70 MW düzeyindedir. Bu değer 2022 yılında devreye girilecek toplam enerji üretim miktarının %0,72'lik payına denk gelmektedir. 2023 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 70MW düzeyindedir. Bu değer 2023 yılında devreye girilecek toplamenerji üretim miktarının %0,48'lik payına denk gelmektedir. Türkiye'de biyokütle enerji santrallerinde 2024 ve 2025 yılları sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı her iki yıl için 70 MW düzeyinde olacağı öngörülmektedir. Bu değerler 2024 yılında devreye girilecek toplam enerji üretim miktarının %0,44'lük payına denk gelirken 2025 yılında ise %0,40'lık payına denk gelmektedir. Türkiye'de 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girecek olan biyokütle kökenli enerji santrallerinden toplam enerji üretim değeri 5.604,2 MW düzeyinde olacağı öngörülmektedir. Bu değer 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girilecek toplam enerji üretim miktarının %6,86'lik payına denk gelmektedir. Türkiye'de 2022, 2023, 2024 ve 2025 yıllarında biyokütle enerji santrallerinden sisteme ilave olarak eklenecek enerji üretim miktarı sabit kalmıştır. TEİAŞ yayınladığı 2021-2025 üretim projeksiyonunda devreye girecek olan biyokütle enerjisi santrallerinde sisteme ilave edilecek en fazla enerji üretim değeri katkısı 2021 yılında gerçekleştirilmiştir. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları arasında 2021-2025 üretim projeksiyonunda devreye girecek olan santraller ile birlikte enerji üretimine en fazla katkıyı sırası ile güneş enerji santralleri, rüzgar enerji santralleri, biyokütle enerji santralleri, hidroelektrik enerji santralleri ve son olarak da jeotermal enerji santrallerinin sunacağı ön görülmektedir. Bu anlamda yenilenebilir enerji kaynakları itibari ile enerji üretiminde ilave olarak üçüncü en fazla katkıyı biyokütle enerji santralleri sunacağı planlanmaktadır.

Türkiye'de hidroelektrik enerji santrallerinde 2021 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girecek toplam enerji üretim miktarı 1.250,2 MW düzeyindedir. Hidroelektrik enerji santrallerinde 2022 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 1.959,8 MW düzeyindedir. 2023 yılı sonu itibari

ile ise sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 1.053,7 MW düzeyindedir. 2024 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 455,6 MW düzeyindedir. Bu durum 2025 yılı için 436,8 MW düzeyindedir. Türkiye'de 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girecek olan hidroelektrik enerji santrallerinden toplam enerji üretim değeri 5.156,2 MW düzeyinde olacağı öngörülmektedir.

Türkiye'de güneş enerji santrallerinde 2021 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 2.503,8 MW düzeyindedir. Türkiye'de güneş enerji santrallerinden 2022, 2023, 2024 yılları sonu itibari ile ayrı ayrı sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 2.340,0 MW düzeyindedir. Bu durum 2025 yılı için 1.440,0 MW düzeyindedir. Türkiye'de 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girecek olan güneş enerji santrallerinden toplam enerji üretim değeri 10.963,8 MW düzeyinde olacağı öngörülmektedir.

Türkiye'de rüzgar enerji santrallerinde 2021 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 2.798,1MW düzeyindedir. 2022 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 3.005,8 MW düzeyindedir. Bu değer 2023 yılı sonu için 705,1 MW, 2024 yılı sonu için 968,1 MW ve 2025 yılı sonu için 1.340,1 MW düzeyinde olacağı hedefler arasındadır. Türkiye'de 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girecek olan güneş enerji santrallerinden toplam enerji üretim değeri 8.817,3 MW düzeyinde olacağı öngörülmektedir (EPDK, 2020).

Türkiye'de yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından toplam 2021 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 24.352,3 MW düzeyindedir. 2022 yılı sonu itibari ile sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 9.660,2 MW düzeyindedir. 2023 yılı sonu itibari ile ise sisteme ilave olarak devreye girilecek toplam enerji üretim miktarı 14.373,4 MW düzeyindedir. 2024 yılı sonu itibari ile bu değer 15.699,0 MW düzeyindedir. 2025 yılı sonu için de 17.584,4 MW düzeyindedir. Türkiye'de 2021 ile 2025 yılları da dahil olmak üzere devreye girecek olan yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından toplam enerji üretim miktarı 81.669,4 MW düzeyinde olacağı öngörülmektedir.

Mevcut yapılar arası geçiş ve bağlantı, enerji santralinin kurulumunun yapılacağı alan hazırlık çalışmaları, yapının inşaatı için gerekli tahsisat başta olmak üzere sivil ve yapısal maliyetler; rüzgar türbinleri, kazanlar, elektrik üreteçleri başta olmak üzere mekaniksel donanımın tedariği ve kurulumu için gerekli maliyetler; elektrik ve enstrümantasyon ve kontrol maliyetleri; santral yapımında kullanılacak olan iskeleler, sanat işçiliği, mühendislik ücretleri başta olmak üzere projenin dolaylı maliyetleri; fizibilite çalışmaları, gerekli hukuki ücretler, sigorta ücretleri başta olmak üzere enerji tesisi ve enerji santral sahiplerinin maliyetleri her enerji santralleri için gerekli maliyetlerin en ön planda olanlarıdır (Yıldırım, 2018).

Enerji santrallerinin üretime başlamadan önce tüm proseslerin sorunsuz bir biçimde çalışmasına sağlamak amaçlı ekipman, makine, arazi, santralin kurulacağı alan ve her türlü santralin üretime geçebilmesi için gerekli donatının sağlanabilmesi için yapılan harcamalardır. Yenilenebilir veya yenilenemez enerji santrallerinin ilk yatırım maliyetleri en fazla harcamanın yapıldığı kısımdır. Sabit işletme maliyeti ise personelin alacağı maaşlar, enerji santrallerine alınacak destek donatıları, periyodik yenileme veya bakım gerektiren maliyetler başta gelen harcamalardır. Üretilecek enerjinin bir birim miktarındaki tanzim edilecek maliyeti değişken işletme maliyet olarak ifade edilir (Yalçıner, 2021).

5.7. Enerji Santrallerinin Maliyetleri ve Ömrü

Enerji santrallerinin hem maliyeti hem de faliyette bulunduğu zaman dilimi boyunca işletme ve yatırımcılar için çok önemli bir yere sahiptir. Hem yenilenebilir hem de yenilenemez enerji santrallerinin ömrünü ve maliyetlerini etkileyen pek çok fazla parametre parametre bulunmaktadır. Ayrıca ülkelerin uygulayacakları enerji politikaları kapsamında enerji santrallerinin maliyet ve kullanım süresi açısında kapsamlı değerlendirmeler yapıp güçlü yönlerini, zayıf yönlerini, ilerleyen süreçlerde karşılaşılcak tehdit ve fırsatları çok iyi analiz ederek yatırımlarını gerçekleştirmelidir.

Tablo 31. Enerji Santrali Maliyetleri (Kaya, 2015)

Santral Tipi	İlk Yatırım Maliyeti ($/kW)	Sabit İşletme Maliyeti ($/kW-yıl)	Değişken İşletme Maliyeti ($/MWh)
Rüzgar Santrali (Deniz Üstü)	6230	74	-
Nükleer Santral	5530	93,28	2,14
Jeotermal Enerji Santrali	4362	100	-
Biyokütle Enerji Santrali	4114	105,63	5,26
Güneş Enerji Santrali	3873	24,69	-
Kömür Yakıtlı Linyit Santral	3246	37,8	4,47
Hidroelektrik Santral	2936	14,13	-
Rüzgar Santrali (Kara)	2213	39,55	-
Doğalgaz Yakıtlı Linyit Santral	917	13,17	3,6

Tablo 31'de enerji santrallerinin ilk yarım maliyetleri, sabit işletme maliyetleri ve değişken işletme maliyetlerine yer verilmiştir. Tabloda bulunan enerji santrallerinin ilk yatırım maliyeti $/kW cinsinden ifade edilmiştir. Sabit işletme maliyeti yıllık olarak $/kW-yıl cinsinden ifade edilirken, değişken işletme maliyeti $/MWh cinsinden ifade edilmiştir.

Yenilenebilir ve yenilebilir olmayan kaynaklar itibari ile ilk yatırım maliyeti en fazla olan deniz üstü rüzgar santralleridir. Deniz üstü rüzgar santrallerinin maliyeti kilowatt başına 0,06230 ABD doları düzeyinde maliyete sahiptir. Bu değer ile deniz üstü rüzgar santralleri aynı zamanda en fazla ilk yatırım maliyetine sahip yenilenebilir enerji santrali konumundadır. İlk yatırım maliyeti sıralamasında nükleer enerji santralleri ikinci, jeotermal enerji santralleri üçüncü ve biyokütle enerji santralleri ise dördüncü sırada gelmektedir. Doğalgaz yakıtlı linyit santralleri ise ilk yatırım maliyeti itibari ile en az maliyete sahip enerji santralleri pozisyonundadır. İlk yatırım maliyeti olarak doğalgaz yakıtlı linyit santrallerinin maliyeti kilowatt başına 0,00917 ABD doları düzeyindedir. Biyokütle enerji santralleri en fazla ilk yatırım maliyetine sahip yenilenebilir enerji kaynakları arasında üçüncü sıradadır. İlk yatırım maliyeti olarak biyokütle enerji santrallerinin maliyeti kilowatt başına 0,04114 ABD doları düzeyindedir. Kara rüzgar enerjisi santralleri yenilenebilir enerji kaynakları arasında en

az maliyete sahip santrallerdir. İlk yatırım maliyeti olarak kara rüzgarları enerji santrallerinin maliyeti kilowatt başına 0,02213 ABD doları düzeyindedir.

Biyokütle enerji santralleri sabit işletme maliyeti 10563 $/kW-yıl ile en fazla maliyete sahiptir. Biyokütle enerji santralleri aynı zamanda en fazla sabit işletme maliyetine sahip yenilenebilir enerji santrali durumundadır. Jeotermal enerji santralleri en fazla ikinci sabit işletme maliyetine sahip olup yılda kilowatt başına 0,100 ABD doları düzeyindedir. Nükleer enerji santralleri en fazla üçüncü sabit işletme maliyetine sahip olup yılda kilowatt başına 0,09328 ABD doları düzeyindedir. Doğalgaz yakıtlı linyit santralleri ise sabit işletme maliyeti olarak en az maliyete sahip olup yılda kilowatt başına 0,01317 ABD dolar düzeyindedir.

Biyokütle enerji santralleri değişken işletme maliyeti olarak 5,26 $/MWh ile en fazla maliyete sahiptir. Biyokütle enerji santrallerinin değişken işletme maliyeti megawatt saat başına 0,0526 ABD doları düzeyindedir. Biyokütle enerji santralleri aynı zamanda en fazla değişken işletme maliyetine sahip yenilenebilir enerji santrali durumundadır. Kömür yakıtlı linyit santrallerinin değişken sabit maliyet ise megawatt saat başına 0,0447 ABD doları düzeyindedir. Doğalgaz yakıtlı linyit santralleri ise en fazla değişken maliyete sahip üçüncü enerji santrali pozisyonundadır. Maliyeti megawatt saat başına 0,036 ABD doları düzeyindedir. Deniz rüzgarları enerji santrallerinin, kara rüzgarları enerji santrallerinin, hidroelektrik enerji santrallerinin, jeotermal enerji santrallerinin ve güneş enerji santrallerinin değişken işletme maliyetleri bulunmamaktadır.

Tablo 32. Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Santrallerin Ekonomik Ve Teknik Ömürleri (Yıldırım, 2018)

Kaynak	Ekonomik Ömrü	Teknik Ömrü
Hidroelektrik	35	70
Solar PV	20	25
Yoğunlaştırılmış Solar Güç (CSP)	25	30
Kara Rüzgarları	25	30
Deniz Üstü Rüzgar	25	30
Jeotermal	35	50
Biyokütle	25	40

Yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin ekonomik ve teknik ömürleri Tablo 32'de paylaşılmıştır. Ekonomik ömrü en uzun yenilenebilir enerji santralleri 35 yıl ile

jeotermal enerji santralleri ve hidroelektrik enerji santralleridir. Biyokütle enerji santrallerinin, deniz üstü rüzgar enerji santrallerinin ,yoğunlaştırılmış güneş enerji santrallerinin ve biyokütle enerji santrallerinin ekonomik ömrü 25 yıldır. Fotovolvoik güneş enerji santrallerinin ömrü ise 20 yıl ile yenilenebilir enerji kanyaklı santralleri arasında en kısa ekonomik ömre sahip santrallerdir.

Yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerin arasında teknik ömrü en uzun olanı 70 yıl ile hidroelektrik enerji santralleridir. Yenilenebilir enerji kaynaklı santralleri arasında 50 yıl ile teknik ömrü en uzun olan ikinci santral tipi jeotermal enerji santralleridir. En uzun üçüncü teknik ömre sahip santraller 40 yıl ile biyokütle enerji santralleridir. Yoğunlaştırılmış güneş enerji santrallerinin, kara rüzgarları ve deniz üstü rüzgarların oluşturduğu enerji santrallerinin teknik örü ise 30 yıldır.

Yeni elektrik üretim kapasitelerinin güncel ve gelecekteki tahmini maliyet ve performans özellikleri, enerji görüşleri ve analizlerinin geliştirilmesinde kritik girdilerdir. Yeni üretim tesislerinin performans özellikleri ile birlikte inşaat ve işletme maliyetleri, gelecekteki elektrik talebini karşılayacak kapasite artırımlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu parametreler aynı zamanda mevcut kapasiteye karşı yeni kapasitenin nasıl rekabet ettiğini ve elektrik jeneratörlerinin konvansiyonel kirleticiler üzerinde çevresel kontrollerin uygulanması veya sera gazı emisyonları üzerindeki herhangi bir sınırlamaya nasıl tepki vereceğini belirlemeye yardımcı olur (Güler & Yumurtacı, 2021).

Her teknoloji, olağan dışı kısıtlamalara veya altyapı gereksinimlerine sahip olmayan bir konumda, belirli bir boyut ve yapılandırma genel bir tesis tarafından temsil edilir. Mümkün olduğunda, maliyet tahminleri, işçilik ve malzeme oranları için genel varsayımlar kullanılarak, danışman tarafından bilinen fiili veya planlanmış projelerden elde edilen sistem tasarımı, yapılandırma ve yapı hakkındaki bilgilere dayanmaktadır.

5.8. Kaynağa Göre Mevcut Ve Güncellenen Yekdem Fiyatları ve YEK Destekleme Mekanizması Fiyatlarının Güncellenmesinde Dikkate Alınacak Üst Sınırlar

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleme mekanizması ile yenilenebilir enerji yatırımlarını özendirmeyi, üretim faaliyetini arttırmayı, teşvik

etmeyi, etkin ve yayığın kullanmayı amaçlamaktadır. Bununla birlikte yatırımcıyı tatmin edecek fiyatlandırma ile yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretimini arttırmayı amaçlamaktadır. Bu avantajlar lisanslı ve lisanssız elektrik üretim yönetmeliği kapsamınca yapılmaktadır (EPDK, 2020). Türkiye faaliyete geçmiş veya geçecek olan enerji santrallerinde 10 yıl boyunca 2020 yılına kadar kurulacak santrallerin kira, başkasına ait taşınmazlardan izin verilen hukuksal çerçevede faydalanma hakkı ve diğer kullanım izinleri maliyetlerinde indirim sağlamıştır. Bu indirim miktarı %85 düzeyinde gerçekleşmiştir (Yalçıner, 2021). Türkiye 2019 yılında yenilenebilir enerji kaynakları tesisinin kendi abone grubuna göre EPDK tarafından belirlenen enerji satış tutarları üzerinden ekstradan üretilen elektrik satışını yapabilmesine olanak sağlamıştır. Bu destek enerji santralinin devreye girmesi ile başlayıp 10 yılı kapsamaktadır (Özcan, 2021). 2019 yılında 5 MW enerji miktarına kadar kurulu güce sahip lisanssız yenilenebilir enerji kaynakları tesislerinin kilovat başına alınan lisans ücretinden ayrı tutulması kararlaştırılmıştır.

Tablo 33. Mevcut Ve Güncellenen Yekdem Fiyatları (Güler & Yumurtacı, 2021)

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesisi Tipi		**30.06.2021 Tarihine Kadar Geçerli Fiyat (ABD Doları sent/kWh)**	**1.07.2021 Tarihinden İtibaren Geçerli Fiyat (TL kuruş/kWh)**	**Fiyat Farkı (1$ = 8 TL için)**	**Fiyat Değişim Yüzdesi**
Hidrolik		7,3	40	2,3	%32
Rüzgar		7,3	32	3,3	%45
Jeotermal		10,5	54	3,75	%36
Biyokütle	Çöp Gazı, Atık Lastik	13,3	32	9,3	%70
	Biyomatanizasyon	13,3	54	6,55	%49
	Termal Bertaraf	13,3	50	7,05	%53
Güneş		13,3	32	9,3	%70

Tablo 33 incelendiğinde Türkiye'de mevcut ve güncellenen yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleme mekanizması fiyatları görülmektedir. Türkiye yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesisi tiplerinde 30.06.2021 tarihine kadar geçerli fiyat (ABD Doları sent/kWh) cinsinden tarife fiyatını kullanırken 1.07.2021 tarihinden itibaren geçerli fiyat (TL kuruş/kWh) cinsinden tarife garantisi benimsemiştir. Bu geçişte 1 ABD Dolarını 8 Türk Lirası olarak kabul etmiştir.

Türkiye 30.06.2021 tarihine kadar geçerli hidroelektrik yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesisinden kilowatt saat başına 0,073 ABD Doları olarak tarife garantisi sunmaktadır. Bu değer 1.07.2021 tarihinden itibaren geçerli fiyat TL kuruş/kWh cinsinden tarife garantisini benimsenmesiyle kilowatt başına 0,050 (ABD Doları sent/kWh) miktarına düşmüştür. 1.07.2021 tarihinden itibaren Türkiye'nin uygulamış olduğu hidroelektrik enerji santralleri tarife garantisinde kilowatt başına 0,023'lük azalış gerçekleşmiştir. Fiyat değişim yüzdesi olarak kilowatt başına dolar cinsinden %32'lik olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye 30.06.2021 tarihine kadar geçerli rüzgar yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesisinden kilowatt saat başına 0,073 ABD Doları olarak tarife garantisi sunmaktadır. Bu değer 1.07.2021 tarihinden itibaren geçerli fiyat TL kuruş/kWh cinsinden tarife garantisini benimsemesiyle kilowatt başına 0,040 (ABD Doları sent/kWh) miktarına düşmüştür. 1.07.2021 tarihinden itibaren Türkiye'nin uygulamış olduğu rüzgar enerji santralleri tarife garantisinde kilowatt başına 0,033'lük azalış gerçekleşmiştir. Fiyat değişim yüzdesi olarak kilowatt başına dolar cinsinden %45'lik azalış olarak gerçekleşmiştir.

Türkiye 30.06.2021 tarihine kadar geçerli jeotermal yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesisinden kilowatt saat başına 0,105 ABD Doları olarak tarife garantisi sunmaktadır. Bu değer 1.07.2021 tarihinden itibaren geçerli fiyat TL kuruş/kWh cinsinden tarife garantisini benimsemesiyle kilowatt başına 0,0675 (ABD Doları sent/kWh) miktarına düşmüştür. 1.07.2021 tarihinden itibaren Türkiye'nin uygulamış olduğu jeotermal enerji santralleri tarife garantisinde kilowatt başına 0,0375'lik azalış gerçekleşmiştir. Ayrıca mevcut yekdem fiyatı güncellenen yekdem fiyatlarıa göre kilowatt başına dolar cinsinden %36'lik azalış olmuştur

Türkiye 30.06.2021 tarihine kadar geçerli biyokütle kökenli çöp gazı, atık lastik yenilenebilir enerji üretim tesisinden kilowatt saat başına 0,133 ABD Doları olarak tarife garantisi sunmaktadır. Bu değer 1.07.2021 tarihinden itibaren geçerli fiyat TL kuruş/kWh cinsinden tarife garantisine geçmesiyle kilowatt başına 0,040 (ABD Doları sent/kWh) miktarına düşmüştür. 1.07.2021 tarihinden itibaren güncellenen tarife garantisi ücretlerinde biyokütle kökenli çöp gazı, atık lastik yenilenebilir enerji üretim tesisinden kilowatt başına 0,093'lük azalış gerçekleşmiştir. Fiyat değişim yüzdesi

olarak kilowatt başına dolar cinsinden %70'lik azalış olarak gerçekleşmiştir. Bu azalış miktarı mevcut ve güncellenen tarife garantisi fiyatlandırmasında güneş enerjisi kaynağına dayalı üretim tesislerindeki azalış miktarı ile eşit düzeyde olup yenilenebilir enerji kaynakları itibari ile en fazla azalışın olduğu enerji üretim tesisi konumundadır. Türkiye 30.06.2021 tarihine kadar geçerli biyokütle kökenli termal bertaraf yenilenebilir enerji üretim tesisinden kilowatt saat başına 0,133 ABD Doları olarak tarife garantisi sunmaktadır. Bu değer 1.07.2021 tarihinden itibaren geçerli fiyat TL kuruş/kWh cinsinden tarife garantisine geçmesiyle kilowatt başına 0,0625 (ABD Doları sent/kWh) miktarına düşmüştür. 1.07.2021 tarihinden itibaren güncellenen tarife garantisi ücretlerinde biyokütle kökenli biyomatanizasyon yenilenebilir enerji üretim tesisinden kilowatt başına 0,0655'lik azalış gerçekleşmiştir. Fiyat değişim yüzdesi olarak kilowatt başına dolar cinsinden %49'luk azalış olarak gerçekleşmiştir. Türkiye 30.06.2021 tarihine kadar geçerli biyoenerji termal bertaraf yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesisinden kilowatt saat başına 0,133 ABD Doları olarak tarife garantisi sunmaktadır. Bu değer 1.07.2021 tarihinden itibaren geçerli fiyat TL kuruş/kWh cinsinden tarife garantisini benimsemesiyle kilowatt başına 0,0625 (ABD Doları sent/kWh) miktarına düşmüştür. 1.07.2021 tarihinden itibaren Türkiye'nin uygulamış olduğu termal bertaraf enerji santralleri tarife garantisinde kilowatt başına 0,0705'lik azalış gerçekleşmiştir. Fiyat değişim yüzdesi olarak kilowatt başına dolar cinsinden %53'lük azalış gerçekleşmiştir.

Türkiye 30.06.2021 tarihinden önce güneş enerjisi tesislerinden elektrik alım garantisi kilowatt başına 0,133 ABD dolarıyken Temmuz 2021'den itibaren kilowatt başına 0,040 dolar düzeyinde elektrik alım garantisi sunulmuştur. Yeni tarife garantisi ile kilowatt başına 0,093 dolar düşüş yaşanmıştır. Fiyat değişim yüzdesi olarak kilowatt başına dolar cinsinden %70'lik azalış gerçekleşmiştir.

Tablo 34. YEK Destekleme Mekanizması Fiyatlarının Güncellenmesinde Dikkate Alınacak Üst Sınır (T.C Resmî Gazete, 2021)

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesisi Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD doları cent/ kWh)
Hidroelektrik üretimi tesisi	6,40
Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi	5,10
Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	8,60
Biyokütle çöp gazı ve atık lastiğe dayalı üretim tesisi	5,10
Biyokütle biyometanizasyon dayalı Üretim Tesisi	8,60
Biyokütle Temel Bertarafa dayalı Üretim tesisi	8,00
Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	5,10

01.07.2021 tarihinden 31.12.2025 tarihine kadar uygulanacak olan YEK destekleme mekanizması fiyatlarının güncellenmesinde dikkate alınacak üst sınırlar Tablo 34'te görülmektedir. YEK destekleme mekanizması fiyatlarının güncellenmesinde dikkate alınacak üst sınırlarlar 30 Ocak 2021 tarihinde 31380 sayısında yayınlanmıştır. Türkiye bütün yenilenebilir enerji kaynakları için YEK destekleme mekanizması fiyat uygulama süresini 10 yıl olarak kabul etmiştir. Yine aynı şekilde yerli katkı fiyatı bütün yenilenebilir enerji kaynakları için 8 TL kuruş/kWh olarak belirlenmiştir. Türkiye'de yerli katkı fiyatı uygulama süresi 5 yıl olarak kabul edilmiştir.

Temmuz 2021'den itibaren yenilenebilir enerji kaynağına dayalı üretim tesislerinde YEK destekleme mekanizması fiyatlarının güncellenmesinde dikkate alınarak üst sınır fiyatları ABD doları cent/ kWh cinsinden hesaplanmıştır. Güncellenen YEK destekleme mekanizması fiyatlarının dikkate alınacak üst sınırı hidroelektrik üretimi tesisleri için kilowatt başına 0,060 ABD doları düzeyindedir. Güncellenen YEK destekleme mekanizması fiyatlarının dikkate alınacak üst sınırı rüzgar enerjisine dayalı üretimi tesisleri için kilowatt başına 0,0510 ABD doları düzeyindedir. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesislerinde ise üst sınır kilowat başına 0,0860 ABD doları olmuştur. Biyokütle çöp gazı ve atık lastiğe dayalı üretim tesislerinde YEK destekleme mekanizması fiyatlarının güncellenmesinde dikkate alınacak üst sınır kilowat başına 0,051 ABD doları düzeyindedir. Biyokütle biyometanizasyon dayalı üretim tesislerinde üst sınır ise kilowat başına 0,0860 ABD doları seviyesindedir. Biyokütle temel bertaraf dayalı üretim tesislerinde de üst sınır kilowat başına 0,080 ABD doları düzeyindedir.

Biyokütle çöp gazı ve atık lastiğe dayalı üretim tesisleri, biyokütle biyometanizasyon dayalı üretim tesisleri ve biyokütle temel bertarafa dayalı üretim tesislerinde temel prensibi biyokütle kaynağından enerji üretimi olmasına rağmen fiyatlandırmada farklı üst sınır değerleri alınmıştır. Güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde üst sınır ise kilowat başına 0,0510 ABD doları düzeyinde gerçekleşmiştir.

5.9. Türkiye'nin 2021 Yılı Yenilenebilir ve Biyokütle Enerji Yatırımları

Türkiye son yıllarda yerli ve yenilenebilir enerji kullanımını arttırmayı, enerji kaynaklarını çeşitlendirmeyi, yerli üretimi arttırmayı, maliyeti daha ucuz enerji teminini sağlamayı, enerji talebinde dış ülkelere olan bağlılığı azaltmakla birlikte daha da artan enerji yatırımları ile birlikte ülke içerisinde istihdamı arttırmayı amaçlamaktadır. Bununla birlikte zengin yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin, yaygın ve verimli kullanımını sağlayarak sera gazı salınımlarını azaltmayı, karbon ayak izi miktarını azaltmayı ve imzalamış olduğu Paris İklim Değişikliği Antlaşması'nın taraf olduğu maddeleri yerine getirmeyi de ana hedefleri arasında bulunmaktadır.

Tablo 35. 2021 Yılı Kurulu Güç Enerji Yatırımları (Enerji İleri Genel Müdürlüğü, 2021)

Yakıt Türü	Kurulu Gücü Mw	Oranı (%)
Termik Santraller	42.598	1,52
Hidro Elektrik Santraller	481.732	17,10
Rüzgar Enerji Santralleri	1417.995	50,33
Biyokütle ve Jeotermal Enerji Santralleri	429.769	15,26
Güneş Enerji Santralleri	445.027	1,51
TOPLAM	**2817**	**100**

EİGM 2021 yılı Enerji Yatırımları Raporu'na göre Türkiye'nin kaynaklara göre 2021 yılında sisteme dahil edilen enerji yatırım miktarlarını MWh enerji cinsinden Tablo 35'te yer verilmiştir. 2021 yılı yatırımlarında sisteme dahil edilen Termik Santrallerin toplam 42,598 MW enerji düzeyinde kurulu gücü sisteme dahil edilmiştir. Hidroelektrik enerji santrallerinin 2021 yılında yapılan kurulu gücü yatırım miktarı 481,732 MW düzeyinde olmuş olup %17,10 oranında gerçekleşmiştir. Sisteme ilave olan enerji kaynakları itibari ile en fazla kurulu güç yatırımı 1417,995 MW ile rüzgar

enerjisinde gerçekleşmiştir. Ayrıca %50,33 oranında sisteme ilave güç miktarında olmuştur. Güneş enerji santralleri yatırım miktarı anlamında sisteme 445,027 MW ile dahil edilmiş olup %1,51 oranında sisteme dahil edilen enerji yatırımı olmuştur. Türkiye 2021 yılında atık ısı dahil biyokütle enerjisine ve jeotermal enerjiye toplam 429,769 MW kurulu güç enerji yatırımını sisteme dahil etmiştir. Kurulu güç anlamında da %15,26 oranında sisteme ilave olmuştur. Ayrıca Türkiye'de her geçen yıl yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırm miktarını artmaktadır. Bunun bir sonucu olarak da Türkiye'de yapılan yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar neticesinde hem ünite gücü hem de yıllara göre ilave olunan kurulu güç miktarlarında olumlu yönde artış sağlanmaktadır.

Tablo 36. 2021 Yılında Biyokütle Enerji Santrallerinin Ünite Güçleri Ve İlave Kurulu Güç Miktarları (Enerji İleri Genel Müdürlüğü, 2021)

Santral Adı	İl	Ünite Gücü (MW)	İlave Kurulu Güç (MW)
İ.B.B. Atık Yakma Ve Enerji Üretim Tesisi	İstanbul	-	85,816
Kalyoncu Çöp Biyogaz Santrali	İstanbul	1,415	18,395
Çine Biyokütle Enerji Santrali	Aydın	-	12.20
Besaş Biyokütle Enerji Santrali	Hatay	-	12,00
Seymen Enerji Üretim Tesisi	İstanbul	1,414	11,312
Mosbio Enerji Bes	Manisa	-	10,337
Salihli Biyokütle Yakıtlı Enerji Santrali	Manisa	-	9,73
Kmk Biyokütle Enerji Santrali	Kahramanmaraş	-	9,50
İzmir Çöp Gaz Elektrik Üretim Tesisi	İzmir	1,470	7,35
Selçuklu Enerji Santrali	Konya	7,115	7,115
Bientaş Konya Termal Bertaraf Tesisi	Konya	13,33	7,00
Evra Biyokütle Enerji Santrali	Trabzon	-	6,805
Karatepe Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Tekirdağ	6,23	6,23
Vega Hereko Enerji Tesisi	İstanbul	1,501	6,004
Rüyam Enerji	Sivas	5,400	5,400
Ödemiş Bes	İzmir	1,560	4,680
Hisar Biyogaz	Eskişehir	1,500	4,500
Avcıkoru Çöp Biyogaz Santrali	İstanbul	1,415	4,245
Besaş Biyokütle Enerji Santrali	Hatay	16,00	4,00
Cemak Bes	Tokat	-	4,00

Tablo 36'da Türkiye'de 2021 yılında biyokütle enerji santralleri içerisinde kurulu güce en fazla katkı sağlayan 20 santral, mevcut kurulu güç miktarları ve bulundukları şehirler ile birlikte belirtilmiştir. İ.B.B. Atık Yakma Ve Enerji Üretim Tesisi İstanbul'da 2021 yılında faaliyete geçmiş olup 85,816 MW kurulu güce sahip olmuştur. 2021 yılında biyokütle enerji santralleri arasında kurulu gücü en fazla artan santral olmuştur. Kalyoncu Çöp Biyogaz Santrali İstanbul'da bulunup mevcut ünite gücü 1,415 MW düzeyindeyken 2021 yılında 18,395 MW düzeyinde ilave kurulu güç artışı gerçekleştirmiştir. Bu anlamda 2021 yılında en fazla kurulu gücü artan ikinci biyokütle enerji santrali pozisyonundadır. Çine Biyokütle Enerji Santrali Aydın'da bulunmaktadır. Santral 2021 yılında faaliyete geçmiştir. Kurulu gücü en fazla artan

biyokütle enerji santrali olarak 12,20 MW enerji düzeyi ile üçüncü sırada yer almaktadır. Besaş Biyokütle Enerji Santrali Hatay şehrinde bulunmaktadır. Santral 2021 yılında faaliyete geçmiştir. Santralin kurulu güç anlamında 12,00 MW düzeyinde kurulu güç miktarına sahiptir. Kurulu güç anlamında en fazla artış kaydeden dördüncü santral oluştur. Seymen Enerji Üretim Tesisi İstanbul şehrinde bulunmaktadır. Santralin mevcut ünite gücü 1,414 MW düzeyindeyken 2021 yılında 11,312 MW düzeyinde kurulu güç artışı sağlamıştır. Kurulu güç artışı anlamında beşinci sırada yer almaktadır. Burdur'da bulunan Karamanlı Biyokütle Enerji Santrali 1560 MW'lık ünite gücüne sahip olup 2021 yılında 0,10 MW enerji düzeyinde kurulu gücünde artış olmuştur. Kurulu gücü en az artan biyokütle enerji santrali durumundadır.

BÖLÜM 6. BİYOKÜTLE ENERJİSİNİN YENİLENEBİLİR ENERJİ AÇISINDAN ÖNEMİ

Yenilenebilir enerji, fosil enerjiden daha düşük çevresel etkiye sahip olduğu için "yeşil" veya "temiz" enerji olarak adlandırılır (Shah, Kirikkaleli, & Adedoyin, 2021). Doğanın enerji üretimi için sunmuş olduğu imkânlardan yararlanıp enerji ihtiyacının karşılanması genellikle yeni bir yaklaşım olarak görülse de doğanın imkanlarını kullanıp enerji ihtiyacının karşılanması ısıtma, yemek pişirme, ulaşım, aydınlatma başta olmak üzere insanlık tarihi kadar eskidir. Alternatif enerji; biyoenerji, güneş enerjisi, dalga enerjisi, jeotermal enerji gibi farklı enerji türleri kullanılarak fosil yakıtların doğaya vermiş olduğu zarara göre çok daha az miktarda doğaya zarar vermektedir (Argun, Doğru, Altıkat, & Bingül, 2016). Enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ayrıca CO_2 salınımlarının azalmasına, sera gazı salınım miktarının azalmasına, ülkelerin yerli imkanları kullanarak dışa bağımlılığının azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Aktaş, Özer, Soyak, & Ertürk, 2015). Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi ciddi istihdam artışı sağlayacaktır. Küresel ölçekte 20. asrın yarısına kadar primer enerji ihtiyacının hepsi yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarından karşılanmıştır (Dale, 2019). Yenilenebilir enerjinin küresel pazardaki payı, enerji üretiminin son birkaç on yılda istikrarlı bir şekilde artmasıyla oluşmuştur. 1970'lerdeki petrol krizi, gelişmiş ülkeleri fosil yakıtlara alternatif arayışlara itmiş ve daha sonra küresel ısınma ve iklim değişikliği uyarısı dünya çapında bu çabaları hızlandırmıştır. Günümüzde ise neredeyse 21. asrın ilk çeyreğinin sonu tamamlanmış durumundayken küresel ölçekte birincil enerji ihtiyacının %80'inden fazlası yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Dale, 2019). Günümüzde fosil yakıtların kullanımından yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına geçiş daha yeni bir yöntem olduğundan dolayı alternatif enerji kaynağından enerji üretimi maliyetleri fazla olmasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca teknolojik olarak yenilenebilir enerji kaynağından enerji üretiminin daha yeni olması ve enerji sektöründe payının artması ülkelerin teşvik ve destek politikaları ile desteklenmelidir (Öznazik, 2022). Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji ihtiyacının karşılanmasının önem kazandığı bir dönemde Türkiye bulunduğu coğrafik konum itibari ile zengin kaynaklara ve potansiyele sahip bir ülke pozisyonundadır. Türkiye zengin yenilenebilir

enerji kaynaklarını etkin, verimli ve yaygın bir biçimde kullanması çok büyük bir önem taşımaktadır (Tırınk, 2022).

6.1. Biyokütle Enerjisinin Avantajları

Biyokütle; bitki, hayvan veya biyosferde var olan tüm organik maddeleri ve bunların doğal veya yapay dönüşümleri yoluyla elde edilen materyalleri ifade eder. Kentsel atıklar, enerji bitkileri, endüstriyel atıklar, orman kökenli atıklar, tarımsal atıklar başta olmak üzere ısı, yakıt ve elektrik ihtiyacının karşılanmasında kullanılırlar. Biyokütle enerjisi dünya üzerinde bilinen en yaygın ve en eski enerji kaynağı pozisyonundadır (Bakkaloglu, Lowry, Fisher, & France, 2021). Dünya nüfusunun hızlı artması ile enerjiye olan talep hızlı bir şekilde artmaktadır. Bununla birlikte atmosferdeki sera gazı miktarının artması, iklim değişikliğinin etkilerinin daha belirgin hale gelmesi, küresel ısınmanın etkilerinin artması, küresel ölçekte yağış rejimindeki düzensizlikler vb. sebepler başta olmak üzere ülkeler biyokütle enerjisi başta olmak üzere diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebi arttırmıştır. Kyoto Protokolü ve Paris İklim Antlaşması'nın maddeleri uyarınca ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarını daha yaygın, daha etkin ve verimli kullanma politikası içerisine girmişlerdir. Biyokütle enerji kaynağı materyallerin küresel ölçekte çok fazla yayılış göstermesi, ülkelerin var olan enerji potansiyellerini kullanmaya teşvik etmiştir. Ülkelerin biyokütle enerjisine artan taleplerinin diğer sebepleri fosil yakıt kaynaklarının yakın gelecekte tükenecek olması, biyokütle enerji kaynaklarının sürekli yenilenip her zaman tükenmeyecek olması, ülkelerin yerli kaynakları kullanarak hem dışa bağımlılıktan bir miktar dahi olsa kurtulması hem de gelecekte ekonomik kalkınma için daha sürdürülebilir enerji kaynağı olması, yenilenebilir enerji üretiminde ve tüketiminde payını arttırması, daha güvenli enerji arzına sebebiyet vermesinden dolayı biyokütle enerjisi ile birlikte diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi hem Türkiye hem de küresel ölçekte oldukça artmaktadır.

- Biyoyakıtlar maddenin üç halinin tamamında, yani katı, sıvı ve gaz halinde kullanılabilir olan tek yenilenebilir enerji kaynağıdır. Maddenin katı halinde bulunan biyokütle materyali katı halde temel olarak odun ve yongalar, odun kömürü, peletler başta olmak üzere orman atık ve kalıntıları, tarım atık ve kalıntıları

bununla birlikte kentsel atık ve kalıntılar bunlardan sadece bazılarıdır. Sıvı halde biyokütle materyalleri olarak biyoetanol ve biyodizel öne çıkıyor. Ek olarak, gaz halinde, normalde ya mikrobiyolojik kökenli anaerobik fermantasyon ya da gazlaştırma (biyokütlenin yüksek sıcaklıkta, yaklaşık 1400 °C'de kısmi oksidasyonu) ile elde edilen biyogaz motor yakıtı olarak kullanımı suretiyle ulaşım, türbin yakıtı olarak kullanımı ile elektrik üretimi, yakıt pillerinde kullanımı ve ısınma amaçlı kullanılabilmektedir. Günümüzde biyokütle, katı ve gaz halindeki enerjilere dönüştürülebilen tek yenilenebilir kaynağı olarak bilinmektedir. Ayrıca, teknolojik gelişmelerle birlikte çeşitli biyodizel ve biyoetanolden farklı biyokütle yakıt alternatifleri ortaya çıkmakta ve uzun vadede ulaşım sektöründe daha fazla kullanılmaktadır. Günümüzde biyokütle enerji kaynaklarından da yakıt çeşitlendirmesi yapılmaktadır. Bunlardan bazıları; sıkıştırılmış doğal gaz (CNG), biyo-benzin, biyo-butanol, hidro-işlenmiş bitkisel yağ (HVO), yağ asidi metil ester (FAME) metanol, izobutanol ve hidrojen ve sentez gazı şeklindedir (Rosillo & Calle, 2016). Ayrıca günümüzde biyokütle enerji kaynakları ulaşımda fosil yakıtların yerini alabilecek potansiyeli yüksek yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir.

- Günümüzde biyokütle enerji kaynakları kömür ile birlikte yakılabilmektedir. Kömür ile birlikte yakıldığında daha az CO_2 miktarı atmosfere bırakılmaktadır (Herbert & Krishnan, 2016). Biyoyakıt üretimi için biyokütle kullanımı fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır. Biyokütle, yaşam döngüsü boyunca karbon nötr bir kaynak olarak kabul edildiğinden, iklim değişikliğinin azaltılması ve adaptasyonunda önemli bir konuma sahiptir.
- Biyokütle kaynakları için hem yurtiçinde hem de ihracat ürünü olarak güçlü bir rekabet vardır. Ayrıca biyokütle hammaddelerinin çıkarılması, toplanması, işleme hazırlanması gibi durumlar kırsal alanlarda sürekli istihdam yaratabilmektedir. Biyokütle enerjisi sağlamış olduğu istihdam sayısı olarak yenilenebilir enerji kaynaklar arasında en çok istihdam sağlayan ikinci sırada enerji kaynağı olarak yer almaktadır. Ayrıca kırsal kalkınma, yöre insanına soyo-ekonomik fayda sağlaması biyokütle enerjisini diğer enerji kaynaklarına göre üstün kılan bazı üstünlüklerin başında gelmektedir (Yıldırım & Koçer, 2022).

- Günümüzde katı biyokütle enerji materyallerinden enerji üretimi sonucunda ortaya çıkan kül tarım arazilerinin veriminin arttırılmasında kullanılmaktadır.
- Yüksek konsantrasyonlarda uçucu madde, Ca, H, Mg ve P yapısal organik bileşenler, ekstraktifler, suda çözünür besin elementlerini içerisinde barındırması, CH_4 , CO_2 , NO_X , SO_X başta olmak üzere zararlı gazların salınımlarını azalması, atıkların bertaraf edilmesi, bozulmuş ve kirlenmiş tarım arazilerin restorasyonu noktasında başta fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynağına göre üstünlükleri bulunmaktadır (Vassilev & Vassileva, 2015). Ayrıca biokütleden enerji üretimi sırasında sülfür üretmemektedir.
- Biyokütle enerji materyalleri ısı, elektrik ve yakıt ihtiyacının karşılanabilmesi noktasında çok yönlü bir yapıya sahiptir. Biyokütle enerji materyalleri aynı enerji santralinde hem elektrik hem de ısı üretebilme özelliğine de sahiptir
- Biyokütle enerjisi, asit yağmuru, maden tahribatı, açık ocaklar, petrol sızıntıları, radyoaktif atık bertaraf veya akarsuların barajlanması ile su kalitesinin azalması ve doğal ekosistemin tahrip edilmesi noktasında çevresel etkilerle sahip değildir.
- Biyokütle kolayca elde edilebilir ve dünyanın her yerinde göreceli olarak kolaylıkla yetiştirilebilir. Küresel ölçekte en yaygın bulunan enerji kaynağı pozisyonundadır. Biyokütle enerji kaynağı bu özelliği ile diğer yenilenebilir ve alternatifi olmayan enerji kaynaklarına göre üstünlükleri bulunmaktadır. Ayrıca biyokütle enerji materyali olan yeşil bitkiler enerjiye dönüştürülmeden önce sera gazı salınımlarının azaltılması, atmosfere yayılan zararlı gazların miktarının azaltılması noktasında diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre üstünlük sağlamaktadır (Sririram & Shahidehpour, 2005).

- Fotosentezin doğal bir parçası olarak biyokütle yakıtları, yaşam döngüleri boyunca bitkiler tarafından emilen karbon miktarıyla aynı miktarda atmosfere zararlı gaz salınımı yapmaktadır. Dolasıyla biyokütle enerji materyalleri karbon nötr özelliği taşımaktadır.

- Katı atıkların yakılmasıyla, düzenli depolama sahalarına atılan çöp miktarı yüzde 60 ila 90 oranında azaltılmakta ve depolama sahası bertaraf maliyetini ve düzenli depolama için gereken arazi miktarını azaltmaktadır. Bu yönü ile diğer yenilenebilir ve fosil yakıtlara göre üstünlük kurmaktadır.

- Biyokütle enerjisi hammaddesi olarak orman atıkları, kentsel atıklar, endüstriyel atıklar, tarım atıkları başta gelmektedir. Hammadde temini noktasında kesintisiz temin etme özelliği bulunmaktadır. Hidroelektrik enerjisine göre iklimsel parametrelere bağlı olarak enerji üretimi daha az seviyede etkilenmektedir. Aynı zamanda güneşlenme süresi yine biyokütle enerji materyalinden enerji üretimi güneşten enerji üretim miktarına göre daha az miktarda etkilenmektedir. Bununla birlikte rüzgar esme sıklığı, rüzgar hızı ve rüzgara bağlı topoğrafik konum biyokütleden enerji üretimi için çok önemli parametre değildir (Argun, Doğru, Altıkat, & Bingül, 2016). Bu noktada biyokütle enerjisi rüzgar enerjisinden üstündür. Ayrıca biyokütle enerjisi için 5 °C ile 35 °C arasında tarımsal ve enerji bitkileri yetiştiriciliği için bir sorun yaşanmazken güneşten enerji üretimi için optimum sıcaklık 25 °C düzeyinde olması ve havanın bulutlu olmaması önemli bir parametredir. Biyokütle enerjisi kaynağı tarımsal ve ormansal kaynaklı materyaller güneşe göre daha esnek sıcaklık değerlerine sahiptir. Bununla birlikte biyokütleden enerji üretiminde ışık şiddetinin önemi yoktur (Kaputhan, 2014).
- Enerjinin depolanması günümüzde en temel sorunların başında gelmekte olup biyokütle enerjisi hariç diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında önemli bir maliyet ve sorun oluşturmaktadır. Biyokütle enerji materyalleri her zaman kesintisiz olarak temin edilebildiği için ihtiyaca göre enerji üretimi gerçekleştirmektedir.
- Biyokütleden enerji üretiminde her büyüklükte tesis kurulabilir ve enerji üretilebilinir. Bu özelliği ile güneş enerjisi ile birlikte diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre üstünlük kurmaktadır.
- Biyokütle enerjisinin bir diğer avantajlarından birisi de direkt elektrik üretmek amacıyla tesislerde veya endüstriyel ve konutlarda ısı üretmek için kazanlarda, enerji kaynağı olarak doğrudan yanma yoluyla atık dönüşümünde yakılabilmesidir (Proskurina, Junginger, Heinimö, Tekinel, & Vakkilainen, 2019).

6.2. Biyokütle Enerjisinin Dezavantajları

Biyokütle enerjisinin dezavantajları şu şekildedir;

- Biyokütle üretim tesisleri çok büyük alan kaplamaktadır. Biyokütle enerji santralleri ve üretim tesisleri işletmek ve depolamak için çok geniş bir alana ihtiyaç

duyulmaktadır. Bu yüzden biyokütle enerji tesis ve santrallerinin kentsel alanlarda kurulumu zordur. Ayrıca enerji bitkileri başta olmak üzere bazı biyokütle enerji materyallerinin yetiştiriciliğinde oldukça fazla alan kaplamaktadır (Rahman, Mahmut, & Hussein, 2013).

- Biyodizel ve biyometanol başta olmak üzere biyoyakıtlar tek başına yakıt olarak kullanıldığında fosil yakıtlar kadar randımanlı değildir. Verimliliğini arttırmak için genellikle benzin ve dizel ile karıştırılması gerekir. Bu durum biyokütle enerji materyalinin yakıt olarak büyük ölçeklerde kullanılamayacağı anlamına gelir.
- Hayvan atıklarında bulunan metan gazları sayesinde, biyokütle tam olarak temiz bir enerji kaynağı değildir. Metan gazı global ısınma için CO_2'den takribi olarak ortalama 30 kat daha fazla etkiye sahiptir. Odun kaynaklı biyokütle ise yakıldığında ağacın yaşam süresi kadar topladığı CO_2 atmosfere yaymaktadır. Bu durum rüzgar enerjisi, güneş enerjisine ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına karşı daha fazla dezavantaj bir durum oluşturmaktadır (Proskurina, Junginger, Heinimö, Tekinel, & Vakkilainen, 2019). Biyokütle materyalinden enerji üretimi karbon nötr olmasına rağmen, atmosfere CO_2 ve azot yayılımı sağlaması rüzgar gibi karbon sıfır teknolojilerine göre geride kalmasına sebebiyet vermektedir.
- Sürdürülebilir olmayan odun biyokütlesinden hem ağaç endüstrisi talebinin karşılanması hem de enerji üretimi ormansızlaşmayı arttırmaktadır. Biyokütle enerji materyallerinden kontrolsüz yararlanılması biyoçeşitliliği azaltmaktadır. Kontrolsüz monokültür enerji bitki yetiştirileceği ve kontrolsüz olarak alglerden enerji edilmesi kullanılan fosforlu gübre kullanılmasında dolayı su kaynaklarına ve su kalitesine zarar verme ihtimali oldukça yüksektir (Abbasi & Abbasi, 2000). Ayrıca tarımsal biyokütleden enerji üretiminde taşıma kapasitesinin aşılması durumunda toprak erozyonun artmasına, su akışının hızlanmasına ve yer altı sularının kurumasına neden olmaktadır.
- Organik maddenin hasadı, nakliyesi ve depolanması için maliyetli olabilir. Bu durum diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazla maliyete neden olmaktadır.

- Tarımsal ve ormansal Biyokütle enerji materyalinin hasadı sırasında, yetiştiriciliğinde iş kazaları diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazla olmaktadır (Pimentel, 2001).

- Tarımsal biyokütle yetiştiriciliğinde bazı mahsullerde oldukça fazla su kullanımı gerekebilir. Örneğin hektarda üretilecek 8000 kg mısır tanesi üretimi için mısır mahsulü yetiştirme mevsimi boyunca hektar başına 5 milyon litreden fazla su gerektirmektedir (Pimentel, 2001). Bu yüzden kontrolsüz fazla su isteyen tarım ürünü ekimi su kaynaklarının kurumasına sebebiyet verecektir. Aynı zamanda tarımsal ve ormansal kaynaklı biyokütle materyalinin çevresinde yetişen yabani otlar çevredeki su kaynaklarının kalitesini bozacağı ön görülmektedir (Balat, 2005).

- Biyoyakıtlar; ormanlardan, enerji bitkilerden ve tarımsal mahsullerden üretilmektedir. Kontrolsüz ve aşırı miktarda biyokütle enerji materyalinden biyoyakıt üretimi gıda kıtlığına ve gıda fiyatlarının artmasına neden riskine sahiptir (Herbert & Krishnan, 2016).

BÖLÜM 7. TÜRKİYE'DE ORMAN KAYNAKLI BİYOKÜTLENİN YENİLENEBİLİR ENERJİ AÇISINDAN ÖNEMİ

Hem Türkiye hem de global ölçekte ülkeler fosil yakıt orjinli enerji kaynaklarının kullanımı yerine alternatif enerji kaynaklarından etkin, verimli ve yaygın olarak kullanmak için yüksek düzeyde bütçe ayırıp bu doğrultuda detaylı çalışmalar yapmaktadır. Tabiatta kendiliğinden bulunan organik yapılı materyaller insanlık tarihinin ilk zaman diliminden başlayarak günümüze kadar hep enerji kaynağı olmaktadır. Ormanlar bu özellikleri taşıyan nitelikte ve nicelikte olup en önemli yenilenebilir enerji kaynakları arasında gösterilebilir. Günümüzde orman ekosistemi kökenli kaynaklarından elde edilen mamuller "oduna dayalı orman ürünleri" ve "odun dışı orman ürünleri" olmak üzere iki farklı kategori başlığı adı altında değerlendirilmektedir. Odun kökenli orman ürünleri; dikili bir şekilde orman ekosisteminde bulunan ağaçların kesilmesi veya budanması şartıyla oluşan kalıntılarla birlikte odunun çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlere tabii tutulmasıyla elde edilen kereste, maden direği, lif-yonga odunu, sırık, çubuk, levha, kaplama, sanayi odunu ve kâğıt başta olmak üzere son kullanım ürünleri ile birlikte ısınma ihtiyacını karşılamak kullanılan yakacak odunlardır. Odun dışı orman ürünleri ise çeşitli bitkisel yağlar, kozalak, reçine, mantar başta olmak üzere rekreasyon, karbon tutma, toprak koruma, biyolojik çeşitliliği koruma, kısmen de olsa enerji üretimine katkı sunan ekosistem hizmetleri bulunmaktadır (Bakkaloglu, Lowry, Fisher, & France, 2021). Biyolojik kökenli orman materyalleri arasında en önemli olanı ise insanlık tarihi boyunca orman ekosisteminin temel yapı taşlarından birisini oluşturan odun kökenli materyallerdir. Bu materyaller odunun çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemlere tabii tutulmasıyla elde edilen üründen geriye kalan kabuk, kök, dal vb. kalıntılardan enerji üretimi amacıyla kullanımı yaşadığımız zaman diliminde fazlasıyla önem kazanmıştır. Günümüzde ormansal kökenli biyokütle enerjisinin geleneksel biyokütle enerjisi dönüşüm metotlarını uygulayarak 2,5 milyar insan evlerde yemek pişirmek ve ısınma ihtiyacını karşılamak için kullanmaktadır (OGM, 2019). Dünya nüfusunu oluşturan insanların günümüzde ortalama %12'si oranına denk gelen 840 milyon insan enerji ihtiyaçlarını karşılamak için ormandan yakacak odun ve odun kömürü topladığı öngörülmektedir (T.C Kalkınma Bakanlığı, 2018). Günümüzde Afrika'da yaşayan insanların enerji talebinin %27'sinin

odundan karşılandığı tahmin edilmektedir. Bu oran Latin Amerika'da %13 düzeyindedir. Asya Kıtası'nda insanlar enerji gereksinimlerinin % 5'ini odundan temin ettiği öngörülmektedir. Günümüzde gelişmiş ülkeler sera gazı salınımlarını azaltmak, karbon ayak izi mimarlarını azaltmak için odun ve türevli yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Günümüzde Avrupa Kıtası ve Amerika Kıtası'nın Kuzeyi ısınma ihtiyacını karşılamak amaçlı toplam yaklaşık 90 milyon insan odundan yararlandığı öngörülmektedir (ÇEM, 2015). Günümüzde küresel ölçekte yuvarlak odun üretimi senelik 3,4 milyar m^3 olduğu öngörülmüştür. Global ölçekte yuvarlak odun üretiminin yüzde 53'ü insanların ısınma gereksiniminin karşılanması için yakacak odun olarak kullanılmıştır. Yuvarlak odun üretiminin yüzde 47'si endüstriyel odun kategorisindedir. Yakacak odunun yüzde 90'ı gelişmekte olan ülkeler tarafından enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla üretilip tüketilmektedir. Gelişmiş ülkelerde ise lif-yonga, tomruk ve kağıtlık odun başta olmak üzere endüstriyel odunun üretiminin yüzde 79'u gelişmiş ülkeler tarafından üretilmektedir (PWC, 2021).

7.1. Orman ve Enerji İlişkilerinde Başarılı Ülke Örnekleri

Günümüzde küresel ölçekte ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarının hem üretim hem de kullanım miktarını arttırma, jeopolitik konumları itibari ile hangi yenilenebilir enerji kaynağı açısından zenginse var olan potansiyelini değerlendirme yönünde strateji izlemektedir. Dünyada en fazla yayılış alanı olan biyokütle enerjisinden de elektrik, ısı ve yakıt ihtiyacının karşılanmasına yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir. Bu kapsamda Estonya, Letonya ve Litvanya'dan oluşan Baltık ülkeleri, bölgesel ısıtmada yerel biyokütle kullanımı son 5-10 yılda artmışlardır. Yüksek fiyatlar ve ithalata bağımlılığı azaltma politikası nedeniyle doğal gaz kullanımını azaltma politikası izleyen bu ülkeler 2018'de ısıtma talebinin yaklaşık %50'sinden fazlasını, yerel olarak üretilen odun yongalarından ve odun atıklarından elde edilen biyokütle tarafından karşılanmaktadır (IEA, 2018). Bu kapsamda ısınma ihtiyacının karşılanması noktasında bu ülkelerde belediyelerin toplamış olduğu katı biyokütle enerji materyallerini daha yeni teknolojilerle çevrilmesi aynı zamanda elektrik ile çalışan ısı pompalarında gerçekleşen teknolojik ilerlemeler ile Baltık ülkelerinde 2030 yılına kadar ısınma amaçlı biyokütle kullanımının artması öngörülmektedir. Danimarka, değişken yenilenebilir enerji (VRE) sistem entegrasyonunda ve kombine ısı ve güç (CHP) gibi

enerjiyi en üst düzeye çıkaran ve ısıyı en aza indiren enerji tasarrufu teknolojilerinde lider bir oyuncudur. Bu nedenle ülke haklı olarak yeşil çözümlerin laboratuvarı olarak adlandırılmaktadır. Dünya Enerji Konseyi'nin belirlemiş olduğu enerji emniyeti, enerjiye ulaşım ve çevresel sürdürülebilirlik parametrelerinden oluşan en yüksek puana sahip 3 ülke arasındadır. Danimarka bu kapsamda 100 tam değerlendirme puanı üzerinden 84 puana sahip bir ülke pozisyonundadır. Danimarka'da güneş ve hidroelektrik enerjisi kullanımı oldukça düşük miktardayken rüzgar enerjisi ve biyokütle enerjisinden enerji ihtiyacının karşılanması son derece yaygındır (Shah, Kirikkaleli, & Adedoyin, 2021). Danimarka'da 2030 yılında yenilenebilir enerji kullanımı toplam enerji kullanımının yarısını karşılaması planlanırken 2050 yılında bütün enerji ihtiyacını yenilenebilir enerjiden karşılaması hedeflenmektedir. Danimarka'da yenilenebilir enerji toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak %35'ine denk gelmektedir. Yenilenebilir enerjiden karşılanan enerji ihtiyacının yaklaşık olarak yarısını biyokütle enerjisi oluşturmaktadır (Berg, Apostolou, & Enevoldsen, 2021). 2012 yılında her türlü biyokütle kullanımı Danimarka'da 132 Pj düzeyindeyken 2020 yılında 166 Pj düzeyinde karşılanmıştır. 2050 yılında Danimarka'da biyokütle enerjisi tüketimi 205 PJ ile 245 PJ arasında olması öngörülmektedir. Finlandiya'da ise enerji üretimi için fosil yakıt kullanımı her yıl azalmaktadır. 2018 yılında, bölgesel ısıtma ve endüstriyel ısı için biyokütle kullanımı büyümeye devam etti ve toplam enerji kullanımının %50'sinden fazlasını oluşturdu (Sikkema, Proskurina, Banja, & Vakkilainen, 2021). Odun yongaları ve ahşap peletler Danimarka ve Finlandiya'da özellikle ısınma ihtiyacının karşılanmasında çok kritik öneme sahiptir. İsveç enerji talebinin %54'ünü alternatif enerji kaynaklarında karşılamaktadır. İsveç aynı zamanda %60'dan fazlası ormanlar olan bir ülke pozisyonunda olup odunsu biyokütle enerji kaynağı olarak son derece zengin bir ülke pozisyonundadır. İsveç'te 2017 yılında kuzey Stockholm'de, İsveç'in biyokütle yakıtlı kombine ısı ve enerji santrallerinin sonuncusu olan Värtaverket santralini, 280 MW ısı ve 130 MW elektrik kurulu gücüyle devreye aldı. Bu santral İsveç'te türünün en büyüğü ve AB'deki en büyük tesislerden biridir. Tesisin yıllık üretim kapasitesi 750 GWh elektrik ve 1700 GWh ısı olarak derecelendirilmiştir (Bakkaloglu, Lowry, Fisher, & France, 2021). İtalya ayrıca ısıtma/soğutma sektöründe ek olarak odun kullanmaktadır. İtalya ise 2010 yılında konutların ısınması için 1,3 milyon ton odun pelet ithal edip ısınma ihtiyacının

karşılanması için kullanmıştır. 2019 yılında ise diğer AB ülkeleri ve ABD'den odun peleti ithalatını oldukça arttırıp konut ısınması için 2,6 milyon ton odun peleti kullanmıştır. 2010 yılına göre 2 katı odun peleti ısınmak için ithal etmiştir.

Fransa'nın toplam orman varlığı 17,6 milyon hektar alan olup 2004 ile 2007 yılları arasında hayata geçirilmiş olan "Söğüt Koruları ile Su Kalitesinin İyileştirilmesi" adlı bir prosesi uygulamaya geçirmiştir. Bunun için 2.202.400 € harcama yapmıştır. Bu projede hem su kalitesinin arttırılması amaçlanmış hem de söğüt ve kavak ağaçlarından enerji elde etmek hedeflenmiştir. Söğüt ve kavak ağaçları oldukça randımanlı, enerji üretiminde kullanılan, bir ağaç türüdür. Proje kapsamında söğüt ve kavak ağaçları dikim aralığı olarak birbirine çok yakın olarak dikilmiş olup arıtılmış atık sular ile sulanmıştır. Söğüt ağacının kök siteminin fizyolojik ve morfolojik yapısıyla birlikte birebirine çok yakın dikim aralıklarıyla dikilmesinin bir sonucu olarak yüzeye yakın toprak katmanını ağ gibi çevrelemesine neden olmuştur. Böylelikle sulamada kullanılan arıtılmış atık sular toprağın alt katmanlarına ulaşmasına engel olmuştur. Bir başka ifade ile söğüt ağaçları doğal bir filtre görevi görmüş olup atık suyun söğüt ağaçlarının emilimi sağlanmıştır. Böylelikle bu projede kullanılan odunsu materyaller arıtılmış atık suların bertaraf edilmesinde, merkezi ısıtmada, elektrik üretiminde ve benzin veya dizel ile birlikte harmanlanarak yakıt olarak kullanılmıştır.

Almanya günümüzde güneş enerjisi ve rüzgar enerjisine ağırlık vermektedir. Bu anlamda biyokütle enerjisi bu diğer enerji kaynağına göre biraz daha geride kalmıştır. Almanya 2014 yılında itibaren modern enerji çevirim teknolojileri noktasında dünyada en önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır. Bu kapsamda 2014 yılında, katı biyokütleden enerji üreten enerji santrallerinin sayısı önceki yıllara göre oldukça artış göstermiştir (Proskurina, Junginger, Heinimö, Tekinel, & Vakkilainen, 2019). Günümüzde Almanya'da rüzgardan sonra biyokütle, Alman elektrik üretimi için en önemli yenilenebilir enerji kaynağıdır. Biyokütle ve biyo-atık atıklarından elektrik üretimi 2010 yılında 32,6 TWh düzeyindeyken 2018 yılında 51 TWh düzeyine yükselmiştir. Bununla birlikte Almanya'da 2015 yılından itibaren ısınma amaçlı katı biyokütle kullanımı azalış göstermiştir. Buna rağmen Almanya yeni ahşap pelet üretim tesisleri açmaya devam edip pelet üretim kapasitesini %38 kullanım oranında arttırmıştır (Cocchi & Nikolaisen, 2013).

Kore Cumhuriyeti 1960'lı senelere kadar küresel ölçekte en az gelişmiş ülkeler arasında bulunmaktayken ormanlık alanlarının yarısını tarım alanlarına çevirmiş olup aynı zamanda ısınma amacı ile ormanlardan aşırı, kontrolsüz bir şekilde yararlanmaktayken 1960'lı senelerin ortalarından itibaren ormanlarda iyileştirme ve restorasyon planını uygulamaya geçirmiştir. Planın uygulanması ile birlikte Kore Cumhuriyeti'nin orman varlığı hızla artmış, tarımsal alanlarda yaşanan doğal afetler azalmış ve gıda üretimi için son derece olumlu destek sağlanmıştır. Ayrıca ormanlardan kontrolsüz bir şekilde enerji kaynağı olarak kullanılmasının önüne geçilmiştir (T.C Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Yurt dışındaki bu örneklerin yanında AB ülkelerinde 2010-2018 döneminde katı biyokütlenin payı, sekiz yılda yaklaşık 300 PJ'lik bir artış kaydetmiştir. Bu durum toplam brüt nihai enerji tüketiminin %6,1'inden %8,0'ına yükselmesine neden olmuştur. AB ülkeleri 2010-2018 yılları arasında pelet üretiminde toplam 7,5 milyon ton artış kaydetmiştir. 2010 yılına göre 2018 yılında %80'lik pelet artışı kaydedilmiştir.

Birleşik Krallık enerji sektörü, elektrik üretimini daha az karbon yoğun bir karışıma kaydırarak uyum sağlıyor. Yenilenebilir üretim artıyor ve 2025 yılına kadar kömürün aşamalı olarak kaldırılması (petrol kullanımı ihmal edilebilir) planlanıyor. Birleşik Krallık, Avrupa'daki en yüksek fosil yakıt sübvansiyonuna sahiptir ve yenilenebilir kaynaklara 9,3 milyar ABD Doları/yıl'a kıyasla fosil yakıtlara 13,5 milyar ABD Doları/yıl harcamaktadır (Cossutta, Foo, & Tan, 2021). 2019'da Birleşik Krallık genelinde, hem elektrik hem de biyometandan şebekeye sektörlerinde 955 MW eşdeğeri endüstriyel kapasiteye sahip 660 biyogaz tesisi faaliyet gösteriyordu ve toplam 441 kapasiteye sahip yaklaşık 390 yeni tesis için planları bulunmaktadır (Bakkaloglu, Lowry, Fisher, & France, 2021). Kaynağa göre toplam enerji arzı, Birleşik Krallık'ta 2020 yılında biyoyakıt ve atıklardan 537.211,0 TJ olarak gerçekleşmiştir. Birleşik Krallık'ta 2020 yılında enerji arzı hidroelektrikten 23.324 TJ olarak gerçekleşmiş olup rüzgar ve güneş enerjisinden toplam enerji arzı 320.588 TJ olarak gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında enerji arzında en fazla biyoyakıt ve atıklardan yararlanılmaktadır. 2020 yılında biyoyakıtlardan ve kaynağa göre atıklardan elektrik üretimi, Birleşik Krallık'ta birincil katı atıklardan 27.523 GWh olarak gerçekleştirilmiştir. Birleşik Krallık 2020 yılında biyogazdan 7.571 GWh elektrik

üretirken belediye atıklarında 4.304 GWh, endüstriyel atıklardan ise 1.246 GWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Isı üretimi anlamında 2020 yılında Birleşik Krallık'ta birincil katı biyoyakıtlardan 4.205 TJ ısı üretimi gerçekleşmiştir. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından ısı üretimi 2020 yılında gerçekleşmemiştir. 2010 yılında birincil katı biyoyakıtlardan ısı üretimi ise sadece 39 TJ düzeyinde gerçekleşmiştir.2010 yılına göre 2020 yılında Birleşik Krallık katı biyoyakıtladan ısı üretimi 107,8 kat artmıştır IEA, 2021). Birleşik Krallık'ta ormanların yaklaşık olarak üçte ikisi hayır kurumları, çiftçiler, şirketler ve şahıslara aittir. Geriye kalan üçte biri ise kamuya ait devlet ormanlarıdır. Tarım ve ormancılık ayrı ayrı yönetilmektedir. Tarım ve ormancılık entegrasyonu olan işletme sayısı oldukça azdır. Birleşik Krallık'ta sera gazlarını azaltmaya yönelik çalışmaları İşletme, Enerji ve Endüstriyel Strateji Planlama Başkanlığı tarafından yürütülmektedir. Bu bölüm tamamı ile bağımsız olup karbon konusunda tavsiyelerde bulunmak üzere farklı disiplinlerden uzmanlar bir araya gelerek kurulmuştur. Birleşik Krallık 2008 yılında iklim değişikliği yasası ile 2032 yılına kadar sera gazı salınımlarında %57 azaltmayı planlamaktadır. Birleşik Krallığı oluşturan ülkelerin temel amaçlarında birisi de ormanların karbon tutma kapasitesini koruma ve arttırmaya yönelik politikalar gözetmektir (UK Forestry Commission, 2021). Orman ürünlerinde standardizasyon Birleşik Krallık için oldukça önemli bir durumdur. Bununla birlikte 1990 yılında çıkarılan çevre düzenleme yasasının ikinci bölümünde atık odun, ağaç kabuğu ve diğer bitki materyalleri dahil olmak üzere atıkların bertarafı, kontrol altında tutulması ve enerjiye dönüşümü yönetimi ile ilgili yapılması gerekenleri ortaya koymaktadır. İngiltere uygulamış olduğu 2007 ile 2013 yılları arasında kırsal kalkınma programında enerji bitkilerine oldukça fazla yer vermiştir. Bu kapsamda kısa rotasyonlu enerji bitkileri ile Miscanthus isimli enerji bitkileri yetiştiriciliğine oldukça önem verilmiştir. Miscanthus kolay yetiştirilebilir bir bitki türü olup ekiminden üç yıl sonra İngiltere'de 16 ton mahsul vermektedir. Günümüzde 1000 adet evin elektrik talebini karşılamak için 11.000 ton hasat edilen Miscanthus enerji bitkisi materyali yeterli olmaktadır. Bu kapsamda İngiltere bu enerji bitkileri yetiştiriciiği uygulaması için girişimcilere önemli destek hizmeti sunmuştur. Bu destek kapsamında enerji bitkisi yetiştiricilerine uzmanlık sözleşmelerinin, alanında uzman kişilerden destek hizmeti başta olmak üzere üretim ve satın alma masraflarının yarısını karşılamaktadır. Bunun yanında üretimde gerekecek ekipman masraflarının yarısını da karşılama sözleşme

garantisi içerisinde sunmuştur. Sunulan destek kapsamında enerji bitkisi üreticileri mahsul yetiştireceği alan büyüklüğü en az 3 hektar alana sahip olmalıdır. Bununla birlikte destekten yararlanmak isteyenlerin üretim sahaları destek sağlanmadan önce detaylı bir şekilde kontrol edilmektedir. Uygun görülen üreticiler ile beş yıllık sözleşme imzalanmıştır. Bu kapsamda sera gazı salıntılarının azaltılması, yenilenebilir enerji kaynağı olan enerji bitkilerinin etkin kullanılması, fosil yakıtlara olan bağlılığı azaltma, sosyal ve ekonomik kalkınma amaçlanmıştır (UK Forestry Commission, 2021).

7.2 Yakacak Ve Endüstriyel Odun Üretiminin Yenilenebilir Enerji İçin Üretimi

Küresel ölçekte endüstriyel odun üretiminde ve ihracatında ABD, Kanada, Rusya, Brezilya ve Çin Halk Cumhuriyeti önemli paya sahiptir. Yakacak odun üretim ve tüketiminde önde gelen ülkeler; Hindistan, Brezilya ve Endonezya'dır. Son yıllarda biyokütle çevirim teknolojileri, ülkelerin taraf olduğu anlaşmalar ve ormanların sürdürülebilir enerji kaynağı olduğu anlayışının benimsenmesiyle yakacak odun üretimi ve tüketim miktarları anlamında düşüş trendi her geçen gün artarak devam etmektedir.

Tablo 37. Türkiye'de Yıllara Göre Endüstriyel Ve Yakacak Odun Üretim Miktarları (OGM, 2020)

Yıllar	Yakacak Odun Üretim Miktarı (m^3)	Endüstriyel Odun Üretim Miktarı (m^3)
2000	10.402.303	7.329.269
2015	5.022.986	16.637.598
2016	4.877.067	17.009.997
2017	4.359.646	15.521.622
2018	4.890.455	19.080.137
2019	5.589.798	22.113.247
2020	5.396.680	24.751.066

2020 yılında Orman Genel Müdürlüğü (OGM) tarafından yayıyınlanan ormancılık istatistiklarına göre yıllara göre endüstriyel ve yakacak odun üretim miktarları Tablo 37'de paylaşılmıştır. 2000 yılında yakacak odun üretim miktarı 10.402.303 m^3 endüstriyel odun üretim miktarı 7.329.269 m^3 düzeyinde gerçekleşmiştir. Geçmişten günümüze Türkiye'de ormanlardan yakacak odun üretim miktarını OGM ormancılık istatistiklerine göre göreceli bir şekilde düşüş sağlanmıştır. Buna karşın endüstriyel odun üretimini sürekli arttırma stratejisi izlenmiştir. Türkiye 2019 yılında yakacak odun üretim miktarı 5.589.798 m^3 ve endüstriyel odun üretim miktarı

22.113.247 m^3 düzeyinde gerçekleşmiştir. 2020 yılı OGM ormancılık istatistiklerine göre Türkiye yakacak odun üretim miktarı 5.396.680 m^3 düzeyinde gerçekleşmişken endüstriyel odun üretimi ise 24.751.066 m^3 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye'de ormancılık üretim faaliyetleri sırasında ağacın %25 üretim artığı ormanda bırakılmaktadır. Yapılan çalışmanın tarihleri referans alındığında 5 milyon m^3 orman kalıntısının sahada kaldığı tahmin edilmiştir (Karayılmazlar, Saraçoğlu, Çubuk, & Kurt, 2011). Bu biyokütle enerji kaynağı olabilecek kalıntılar çürümektedir. Bu durumun temel sebebi ulaşım masrafları, teknolojik yetersizlik, kalıntılar sahadan çıkarılırken orman gençliğine verilebilecek olası zararlar başta gelen nedenler arasındadır. Türkiye'de 2020 senesinde ise 24.751.066 m^3 miktarında endüstriyel odun üretimi gerçekleşmiştir. Bu veriler ışığında sadece endüstriyel odun üretimi kalıntısı anlamında Türkiye'de 6.187.766,5 m^3 ağaç kalıntısı orman içinde çürümekte olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'de orman kalıntıları miktarı anlamında farklı yaklaşımlar da bulunmaktadır. Bu kapsamda Bayramoğlu ve Toksoy'un 2015 yılında yapmış olduğu çalışmada 10 milyon m^3 endüstriyel odundan 4 milyon m^3 düzeyinde orman artığı elde edilebileceğini savunmuştur (Toksoy, Çolak, & Bayramoğlu, 2020). Bu veriler ışığında ise 2020 yılında Türkiye'de sadece endüstriyel odun üretimi kalıntısı anlamında 9.900.426,4 m^3 orman kalıntısı olduğu öngörülebilir.

Türkiye'de ormancılık üretim faaliyetleri sırasında ağacın %25 üretim artığı ormanda bırakılmaktadır. Yapılan çalışmanın tarihleri referans alındığında 5 milyon m^3 orman kalıntısının sahada kaldığı tahmin edilmiştir (Karayılmazlar, Saraçoğlu, Çubuk, & Kurt, 2011). Yakacak odundan enerji elde etme metodu geleneksel biyokütleden enerji üretim metodu iken endüstriyel odun kalıntılarından oluşan biyokütlenin enerjiye dönüşmesi modern üretim metodunu temsil etmektedir. Türkiye de diğer gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin politikalarını uygulamaya başlamış olup yakacak odun üretimini azaltırken endüstriyel odun üretimini arttırmıştır. Küresel ölçekte yakacak odun üretim miktarının azalmasının diğer başlıca sebepleri ise odun ve odun türevi olan materyallerin daha etkin ve verimli kullanılması, teknolojik gelişmeler, diğer alternatif enerji kaynaklarının yaygınlaşması, ormancılık politikalarında sürdürülebilirlik prensibinin daha etkin bir şekilde benimsenmesi, doğalgaz kullanımının yaygınlaşması, kırsal alanda yaşayan insanların kentlere göç etmesi bununla birlikte ormanları korumak için alınan koruma tedbirleri önde gelen sebepler arasında yer almaktadır. Bu belirtiler

ışığında ilerleyen yıllarda da küresel ölçekte ve Türkiye'de yakacak oduna olan talebin daha da azalacağı tahmin edilmektedir. Günümüzde Türkiye'de 6,5 milyon konut ısınma ihtiyacını karşılamak için yakacak odundan yararlanmaktadır. Bununla birlikte Türkiye'de kâğıt endüstrisinde faaliyet gösteren fabrikaların enerji ihtiyaçlarının yüzde 60'ı odun kalıntılarından sağlamaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Orman Genel Müdürlüğü, Türkiye Cumhuriyeti Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2019).

7.2.1 Odun Pelet Örneği

Türkiye'de ormancılık imal faaliyetleri neticesinde ağacın takribi olarak %25'i imal artığı olarak ormanda kalmaktadır. Yapılan çalışmanın tarihleri referans alındığında 5 milyon m^3 orman kalıntısının sahada kaldığı tahmin edilmiştir. (Kandemir & Sarptaş, 2022). Günümüzde 1 m^3 0,6 ton olduğu kabul edilmekte olup 5 milyon m^3 orman kalıntısı 3 milyon ton değerine eşittir. 1 ton ağırlığıdaki ağaçtan takribi olarak 0,6 ton odun peleti elde edilmektedir. Bu veriler referans alındığında 3 milyon ton orman kalıntısından 1,8 milyon ton odun peleti üretimi gerçekleştirebilir. 1.8 milyon ton odun peletinin piyasa değeri 274 milyon ABD doları düzeyindedir. 1.8 milyon ton odun peletinden enerji üretimi gerçekleştirilmiş olsaydı Türkiye'nin 2015 yılındaki toplam birincil enerji tüketiminin %0,57'si sadece odun peletinden karşılanmış olabilirdi. Ayrıca 1.8 milyon ton odun peleti üretimi gerçekleşmiş olsaydı Türkiye 2017 senesinin %0,49'unu yurt dışından temin etmemiş olurdu. Yine aynı şekilde yurt dışından temin etmiş olduğu enerjinin ise %0,74'üne karşılık gelimiş (Toksoy, Çolak, & Bayramoğlu, 2020). Günümüzde küresel ölçekte yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi, talep ve enerji fiyatları hızlı bir biçimde artış göstermektedir. Türkiye odun peleti potansiyeli açısından zengin bir ülke olmasına karşın hammaddenin enerji santraline erişim maliyetinin oldukça fazla olması, Türkiye'de odun peleti üretim maliyetinin oldukça yüksek olması, odun peleti kullanımnı, pazar oluşturmasını sağlayacak kanunsal eksiklikler, orman kalıntılarını üretim sahasından çıkarma ile ilgili yöntemlerdeki eksiklikler, orman gençliğine zarar verme kaygısı odun peletinden enerji üretimine engel olabilecek başlıca sebepler arasında gösterilebilir (Erdoğan, 1994).

Tablo 38. Enerji Karşılaştırılması (Toksoy, Çolak, & Bayramoğlu, 2020)

Enerji Kaynağı	Enerji (kcal)	Miktarı (kg)	Birim Fiyatı ($)	Toplam ($)
Kömür	6000	2000	0.28	560
Fuel Oil	10500	1142	0.47	541
Ahşap Pelet	4500	2660	0.14	371

Yukarıda Tablo 38'de Türkiye'de bir evin çeşitli enerji kaynaklarına göre enerji kaynağının birim maliyeti, ihtiyaç duyduğu enerji miktarları ve yıllık maliyeti ayrı ayrı incelenmiştir. Referans alınan birim maliyet 19 Eylül 2020 tarihinde 1 ABD doları için 7.90 TL'dir . Bu gidişata göre bir evin enerji gereksiniminin karşılanmasında 6000 kcal enerji seviyesinde takribî 6000 kcal enerji ölçüsünde kömüre gereksinim olup kömürün birim maliyeti 0,28 ABD doları seviyesindedir. Türkiye bir evin ortama kömürden enerji ihtiyacını karşılaması için yıllık 560 ABD doları düzeyinde masraf yapması gerekmektedir. Türkiye'de bir hanenin enerji gereksinimini sadece fuel-oilden temin etmesi için 1142 kg ağırlında, 10500 kcal enerji miktarına gereksinimi bulunmaktadır. Türkiye'de fuel-oil birim fiyatı 0,47 ABD doları düzeyindedir. Türkiye bir evin enerji ihtiyacının sadece fuel oilden karşılaması için yıllık 541 $ düzeyinde masraf yapması gerekmektedir. Türkiye'de bir hanenin enerjii gereksinimi için takribi olarak 1142 m^3 doğalgaz miktarına gereksinim bulunmaktadır. Bu değer yaklaşık olarak 10500 kcal düzeyine eşdeğerdir. 19.09.2020 tarihli döviz kuru referans alındığında doğalgazın m^3 birim fiyatı 0,31 $ düzeyindedir. Türkiye'de bir evin yıllık doğalgazdan enerji ihtiyacını karşılama masrafı 450 $ düzeyindedir. Türkiye'de bir evin yıllık enerji ihtiyacı karşılanması için 4500 kcal enerji miktarına sahip 2660 kg ağırlığında odun peletine ihtiyacı bulunmaktadır. 19.09.2020 tarihli döviz kurları referans alındığında ahşap peletin birim fiyatı 0,14 $ düzeyindedir. Bu bilgiler ışığında Türkiye'de bir evin ahşap peletten senelik olarak enerji ihtiyacının karşılanması için 371 $ gider yapması gerekir. Pelet enerji yoğunluğu olarak kömürden daha az enerji yoğunluğuna sahip olmasına rağmen kömüre göre enerji ihtiyacının karşılanmasında maliyeti daha az olan enerji kaynağıdır. Ahşap pelet yine aynı şekilde bir evin enerji ihtiyacının karşılanması noktasında yıllık maliyet doğalgaz ve fuel-oil enerji kaynağına göre daha azdır. Günümüzde bir aile evindeki ısıtma ihtiyacını fuel-oil'den odun peletine çevirimi gerçekleştirmesi halinde senelik 5 ton daha az sera gazı salınımı söz konusudur. Günümüzde bir aile evini ısınma amaçlı enerji kaynağı olarak doğalgazdan odun

peletine dönüşümü sağlaması halinde yıllık en az 2,5 ton sera gazı salınımında azalma görülmektedir. Odun peletlerinin yakılması sonucu açığa çıkan CO_2 miktarı, ağacın büyüme safhası boyunca bünyesinde biriktirdiği kadar miktara sahiptir. Başta kömür ve diğer yenilenemez enerji kaynakları ise milyonlarca yıldır serbest haldeki CO_2 biriktirmiştir. Böylelikle fosil yakıt kaynağı materyallerin yanma işlemi sonucunda çok daha fazla CO_2 açığa çıkmaktadır. Odun peletinin sera gazı salınımı daha az olmakla birlikte sadece CO_2 değil SO_2 salınım miktarını da azaltır (Kovalyshyn & Kaygusuz, 2019). Odun peletinin kullanımı sadece maliyet açısından değil sara gazı salınımlarının azaltılması noktasında da çevreye kritik etkisi bulunmaktadır.

7.3. Biyoyakıtların Yenilenebilir Enerji İçin Önemi

Son yıllarda dikili olarak orman içerisinde bulunan ağaçların kesiminden veya budama ile elde edilen odundan ısınma ihtiyacının karşılanması veya yemek pişirilmesi için modern çevirim teknolojisi kullanılmadan basit biçimde yakılmasına geleneksel biyokütle enerjisi olarak ifade edilmektedir. Enerji üretmek amaçlı kurulan ormanlardan ve ağaç endüstrisi kalıntılarından elde edilen biodizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar üretimi ise modern biyokütle enerjisinin kaynağı olarak ifade edilmektedir. Günümüzde küresel ölçekte kavak, söğüt, huş, akasya, başta olmak üzere ağaç endüstrisinde ve enerji üretiminde kullanılmaktadır. Hızlı gelişen ağaç türleri endüstriyel plantasyon olarak adlandırılan sahalarda yetiştirilmektedir. Hızlı gelişen türlerin idare süresi ortalama otuz yıl düzeyindedir. Global ölçekte ormanların en az %90'ı yapay olmayan yollar ile kendiliğinden yenilenmiştir. Günümüzde ormanlık alanların 3,75 milyar hektar alanı yani yaklaşık olarak %93'ü doğal olarak yenilenen ormanlardan ve 290 milyon hektarı yani yaklaşık %7'si ise endüstriyel plantasyon orman sahalarından oluşmaktadır. Küresel olarak dünya plantasyon orman sahalarının ortalama %7 düzeyindeyken Türkiye'de ise bu oran ormanlarının %3'ü seviyesinde kalmıştır. Türkiye 2008 senesindeki ormanlık alanlarının 376.547 hektarı plantasyon sahasıdır. 2019 yılında Türkiye'nin plantasyon saha büyüklüğü 671.257 hektar düzeyine çıkmıştır (OGM, 2019). Türkiye'de 11 yıl içerisinde endüstriyel odun ihtiyacını karşılayabilmek için ve başta enerji olmak üzere dışa bağımlılığı azaltmak için plantasyon sahalarının büyüklüğünü neredeyse iki kat büyüklüğünde artış sağlamıştır. Türkiye'de endüstriyel odun ihtiyacı her geçen yıl daha da artmaktadır. Bu gidişle

2030 senesinde endüstriyel odun gereksiniminin 45 milyon m³ düzeyinde gerçekleşeceği öngörülmektedir. Bu talebin karşılanması ve enerji ihtiyacının karşılanması için endüstriyel plantasyon sahalarının arttırılması gerekmektedir.

AB'de biyodizel ve HVO üretimi 2019'da tüm zamanların rekoru 15,7 milyar litre düzeyinde ulaşmıştır. 2020'de yılında Avrupa Birliği'nde biyodizel ve HVO üretimi %13,5 azalarak 13,6 milyar litre düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu azalışın temel sebebi Covid-19 pandemisi olmuştur. AB ülkeleri arasında biyodizel ve HVO üretiminde Fransa, Almanya, İspanya ve Hollanda başta gelen ülkeler arasındadır. 2021 yılı sonunda ise AB ülkelerinin özellikle Almanya'nın iklim koruma kotası getirmesi ve Fransa, İtalya, Polonya ve İspanya'nın daha temiz yakıt kullanımındaki gayretleri ile 2021 yılı sonunda biyodizel ve HVO üretiminde toparlanma gerçekleşip üretimin 15,8 milyar litreye yükseldiği tahmin edilmektedir. 2023, 2024 ve 2025 yılları boyunca, AB ülkelerinin genelinde ortalama biyodizel ve HVO üretimi 16,5 milyar litrelik üretim beklenmektedir (IEA, 2021). ABD'de biyodizel ve HVO üretimi 2019'da rekor 8,4 milyar litre düzeyinde gerçekleşmiştir. AB ülkelerinde olduğu gibi 2020'de üretimde Covid-19 pandemisi sebebiyle 8,2 milyar litre düzeyinde gerçekleşmiştir. Endonezya ve Arjantin'den ithal edilen ve onları ekonomik olmayan hale getiren anti-damping vergileri biyodizel ve HVO üretiminde yurt içi üretimi desteklemektedir. 2023, 2024 ve 2025 yılları ortalama yıllık 14 milyar litre biyodizel üretimi beklenmektedir. Bu artışın temel sebebi ise, birkaç fosil yakıt rafinerisinin dönüştürülüp sisteme dahil edilmesi ve üretim kapasitesine yapılan yatırımdan kaynaklanan hidrojenle işlenmiş bitkisel yağdan elde edilen dizelin üretimindeki dört kat artırmış olmasıdır. Endonezya'da biyodizel üretimi 2019'da rekor kırılarak 7,2 milyar litre düzeyinde gerçekleşmiştir. 2020'de Covid 19 pandemisinden fazla etkilenmeyerek 7,9 milyar litreye çıktığı öngörülmektedir. Endonezya yakıtta dışa bağımlılığı azaltmak için teşvik ve hukuki düzenlemeleri yapmakta olup, yeni tesislerin devreye girmesi ile 2023, 2024 ve 2025 yılları ortalaması olarak 10,5 milyar litre düzeyinde üretim beklenmektedir. Brezilya 2019'da biyodizel üretiminde rekor kırarak 5,9 milyar litre düzeyinde biyodizel üretmiştir. 2020'de biyodizel üretimi 6 milyar litre düzeyinde gerçekleşmiştir. 2025 yılına kadar biyodizel üretiminin 7 milyar litreye kadar çıkması tahmin edilmektedir. Arjantin'de biyodizel üretimi 2019'da 2,4 milyar litre düzeyinde gerçekleşmiştir. Covid-19 pandemi sürecinin olumsuz etkilerinden dolayı biyodizel üretimi 2020 yılında %40

düşüşle 1,4 milyar litre düzeyinde gerçekleşmiştir. 2023, 2024 ve 2025 yıllarının ortalama üretiminin 2,3 milyar litreye yükselmesi öngörülmektedir.

Türkiye'de biyodizel, biyoetanol üretimine dair veriler sağlıklı olmamakla birlikte Orman Genel Müdürlüğü tarafından biyokütleden enerji üreten firmalara 2019 yılında 500 bin ton kök odunu, süceyrat odun ve yakacak odun tahsisen verilmiştir. (PWC, 2021). Türkiye, hızlı büyüyen ağaç türleri için oldukça potansiyeli yüksek topoğrafik, iklimsel ve toprak özelliklerine sahip bir ülkedir. Türkiye söğüt, kavak, akçaağaç, yalancı akasya vb. hızlı büyüyen ağaç türleri için son derece elverişli bir pozisyondadır. 2020 yılında 74.800 ton biyodizel ve 46.500 ton biyoetanol üretimi gerçekleştirilmiştir. Türkiye toplam olmak üzere toplam 121 bin 300 ton biyokütleden elde edilen biyoyakıt üretimi gerçekleştirilmiştir. Türkiye üretimiş olduğu 121.300 ton biyoyakıt ile yurt dışından en az 50 milyon ABD doları yakıt temin etmekten kurtulmuştur (OGM, 2022).

7.4. Türkiye'de Orman İşletme Şekillerinin Yenilenebilir Enerji İçin Önemi ve İlişkisi

İşletme şekilleri bakımından ormanlar baltalık ormanlar, koru ormanlar ve korulu baltalık olmak üzere üç çeşit şeklindedir. Tohumdan yetişmiş olan, genetik çeşitliliği fazla kağıt, sanayi odunu, levha, tomruk başta olmak üzere endüstrinin isteklerine cevap veren, biyokütle enerji kaynağı olan koru ormanları şeklindedir. Baltalık ormanları ise kök veya kütük sürgününden oluşmuş ormanlar olup, endüstrinin isteklerine yeteri kadar cevap veremeyen, sadece ormandan yakacak odun elde etme mantığının olduğu, genetik çeşitliliğin az olduğu ve belirli biyokütle materyalini sahada bırakan işletme şeklidir. Korulu baltalık ormanları ise tohum ve sürgünden yetişmiş orman işetme şeklidir.

Tablo 39. Yıllara Göre Koru Ormanı, Baltalık Orman Ve Koruya Tahvil Çalışması Miktarları (OGM, 2020)

Yıl	Baltalık Orman (Ha)	Koru Ormanı (Ha)	Koruya Tahvil Çalışması (Ha)
2005	1.439.595	5.749.152	11.225
2010	4.874.712	16.662.379	78.584
2015	2.723.217	19.619.718	87.275
2019	1.200.166	21.540,131	75.647
2020	1.276.634	21.656.366	72.843

Tablo 39'da Türkiye'de yıllara göre baltalık ormanların, koru ormanlarının ve yapılan koruya tahvil çalışmalarının miktarları hektar alan olarak paylaşılmıştır. Türkiye 2005 yılında 1.439.595 hektar baltalık orman alanına sahipken 5.749.152 hektar koru ormanına sahiptir. Koruya dönüştürülen alanın büyüklüğü ise 2005 yılında 11.225 hektar alan büyüklüğünde olmuştur. Türkiye 2015 yılında 2.723.217 hektar baltalık orman alanına sahipken 19.619.718 hektar koru orman alanına sahiptir. Koruya tahvil edilen alanın büyüklüğü ise 2015 yılında 87.275 hektar alan büyüklüğünde olmuştur. 2020 yılında Türkiye'nin baltalık orman alanı büyüklüğü 1.276.634 hektar büyüklüğündedir. Koru ormanı alanı büyüklüğü ise 21.656.366 hektar alan büyüklüğündedir. 2020 yılında Türkiye'de yapılan koruya tahvil çalışması 72.843 hektar alan büyüklüğünde gerçekleşmiştir. Türkiye'de nüfusun olağan akışından oldukça fazla artması 1970 senesinden sonra ormanları baltalık olarak işletme prensibi benimsenmiş olup bununla birlikte hızlı nüfus artışı neticesinin bir sonucu olarak sektörel ve bireysel olarak ormanlardan enerji gereksiniminin temin edilmesi amacıyla baltalık orman işletme şekli benimsenmiştir. Sadece ormandan yakacak odun üretimini amaçlayan, geleneksel biyokütleden enerji üretimini temsil eden, ağaç endüstrisinin talebine yeteri kadar karşılayamayan, ormanların sürekliliğini gözetmeyen bir anlayışa sahiptir. Bu kapsamda geniş yapraklı ormanlara yapılan sistematik olmayan ve kuvvetli müdahaleler yapılmıştır (Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, 2020). Türkiye 2000'li yılların başlarına kadar ormanlık alanlarda sadece geleneksel ısı üretimi ve yemlik yaprak ihtiyacı için bir takım iyileştirmelerde bulunmuştur. Süreç içerisinde Türkiye'de 2000'li yıllardan sonra baltalık orman sahalarını hızlı bir biçimde koru ormanlık sahalara çevirimini gerçekleştirmektedir. Yakacak odun ve odun kömürüne olan gereksinimin azalması, taşradan kentlere olan göçlerin fazlalaşması, orman endüstrisinin istekleri, ormandan sadece klasik metotlarla yakacak odundan ısınma gereksiniminin karşılanması düşüncesinin yerine teknolojinin de yardımı ile modern orman biyokütle

enerji kaynağı materyali bazlı elektrik, ısı ve yakıt üretimi düşüncesinin ilke edilmesi, bu dönüşümün esas sebepleri olarak gösterilebilir. Türkiye yakacak odun sunumunu ve üretimini eksiltecek önlem, strateji ve uygulamalara 2000'li yıllar itibari ile başlamıştır. Türkiye'de geleneksel olarak ormanlardan enerji üretimi 2006 yılına kadar devam etmiştir. Türkiye 2006 yılına kadar sadece yakacak odun ihtiyacını karşılamak için 622.000 hektar alan enerji ormanı tesisi adı altında orman tesis çalışmalarında bulunmuştur (OGM, 2020). Bu kapsamda 1990'lı yıllar itibariyle enerji ormanı tesisi adı altında en büyük orman tesis çalışması 26.989 hektar alan büyüklüğünde 1993 yılında gerçekleşmiştir. En büyük ikinci enerji ormanı tesisi çalışması 22.531 hektar büyüklüğünde 1992 yılında gerçekleşmiştir. En büyük üçüncü enerji ormanı tesisi çalışması 18.771 hektar büyüklüğünde 2005 yılında gerçekleşmiştir (OGM, Ormancılık İstatistikleri, 2020). Enerji ormanı tesisi çalışmaları maliyet açısından incelendiğinde, Türkiye 2007 yılından 2021 yılı sonuna kadar hiçbir ücret ödememiştir. Türkiye için enerji ormanı koruma açısından harcanan para miktarı incelendiğinde en son 2007 yılında 206.624 TL harcama yapmıştır. 2008 yılında ise bu değer 47.061 TL düzeyinde olmuştur. Türkiye 2008 yılından 2021 yılı sonuna kadar ormancılık destekleyici hizmetler kapsamında enerji ormanı koruma için harcama yapmamıştır. Yine aynı şekilde 2007-2021 yılları arasında ormancılık destekleyici faaliyetler bünyesinde enerji ormanı tesisi için hiçbir yatırım veya masrafta bulunmamıştır. Yine aynı şekilde Türkiye 2007 yılından 2021 yılı sonuna kadar ormancılık destekleyici hizmetler kapsamında enerji ormanı bakımı adı altında hiçbir harcama yapmamıştır. Türkiye'de baltalık orman işletme şeklinin koru orman işletme şekline dönüşümü 2006-2015 yılları arasında 'Baltalık Ormanların Koruya Dönüştürülmesi Eylem Planı' adı altında, senelik 100 bin hektar baltalık ormanı koruya dönüştürme stratejisi güderek 10 senede 1 milyon baltalık ormanı koru ormanına çevrimi amaçlanmış olup uygulamaya dökülmüştür (Kandemir & Sarptaş, 2022). Türkiye günümüzde bozuk koru orman alanlarını da koru ormanına çevirim politikası izlemektedir. Bununla birlikte enerji potansiyeli açısından verimi düşük nadasa bırakılan araziler, bozuk vasfa sahip baltalık ormanlar, orman ekosisteminin mümkün olduğu kadar biyoçeşitliliğini bozmayacak şekilde çok az randımana sahip makilik ve çalılık alanları maliyeti oldukça az olan enerji bitki yetiştiriciliğinde değerlendirilmesi, Türkiye'nin hem enerji ihtiyacının karşılanmasında

hem de dışa bağımlılığının azaltması noktasında olumlu etkileri olacaktır (Günay, 2008) Bununla birlikte ekonomik kazanç da sağlamış olunacaktır.

7.5. Yer Üstü Orman Biyokütle Stoklarının Yenilenebilir Enerji ve Süreklilik İçin Önemi

Orman biyokütlesi, yapı malzemesi, endüstriyel hammadde, yakıt, ısı ve elektrik kaynağı olarak insanlık tarihi kadar eski bir enerji kaynağı durumundadır. Ayrıca ormanlar sera gazı ve fosil yakıtların çevreye salmış olduğu zararlı gaz emiliminde önemli bir paya sahiptir. Yine aynı şekilde orman biyokütlesi ülkelerin karbon ayak izinin azaltılmasında ve iklim değişikliği ile mücadele noktasında önemli bir paya sahiptir. Genel olarak orman meşcerelerinde biyokütle zamanla artım eğiliminde olmuştur. Bununla birlikte biyokütle birikimi, meşcere yapısı, tür özellikleri, saha kalitesi, bireysel ağaç etkileşimleri, meşcerenin kapalılığı ve hastalıkları kapsayan bir dizi faktörden etkilenmektedir (Gonçalves, Malico, & Sousa, 2020).

Toprak üstü orman biyoenerji kaynağı materyalin miktarının belirlenmesi; biyokütle enerjisinin potansiyelinin belirlenmesinde, atmosfere CO_2 salınım miktarı öngörüsünde ve ülkenin karbon ayak izinin belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Günümüzde bir ülkenin orman biyokütlesinin belirlenmesinde yersel ölçümler yerine coğrafi bilgi sistemleri ile foto yorumlama ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılmaktadır (Kandemir & Sarptaş, 2022).

Tablo 40. Türkiyenin Yıllara Göre Yer Üstü Biyokütle Stokları Ve Ormanlık Arazinin Toplam Arazi Büyüklüğüne Oranı (OGM, 2020)

Yıl	Ormandaki yer üstü biyokütle stokları (milyon ton)	Ormanlık arazinin toplam arazi büyüklüğüne oranı (%)
2010	916	27,1
2011	944	27,1
2012	960	27,2
2013	1.000	27,5
2014	1.014	27,7
2015	1.035	28,1
2016	1.041	28,1
2017	1.031	28,3
2018	987	28,5
2019	1.029	29,2

Tablo 40'ta Türkiye'nin ormandaki yer üstü biyokütle stokları ve ormanlık arazinin toplam arazi büyüklüğüne oranı yüzdesel olarak belirtilmiştir. Türkiye'nin ormandaki yer üstü biyokütle stok miktarı 2010 yılında 916 milyon ton düzeyinde olup ormanlık arazinin toplam ülke büyüklüğüne oranı %27,1 düzeyinde olmuştur. Türkiye'nin ormandaki yer üstü biyokütle stok miktarı 2019 yılında 1.029 milyon ton düzeyinde olup ormanlık arazinin toplam ülke büyüklüğüne oranı %29,2 düzeyinde olmuştur. 2020 yılında ise Türkiye'nin yıllar içerisinde ormandaki yer üstü biyokütle stok miktarı küçük değişimler göstermekle birlikte genelde artan yönde küçük dalgalı hareketler içeresinde olmuştur. Türkiye'nin orman varlığı, özellikle baltalık orman işletmeciliği anlayışının yerine koru orman işletme şeklinin benimsenmesi ve uygulanması ile birlikte sürekli artma eğiliminde olmuştur. Türkiye 2023 yılında yeşil vatan stratejisi ile ilerlemiş olduğu yolda ormanlık alanlarının toplam büyüklüğü ülke topraklarının %30'unu kaplama stratejisi ile hareket etmektedir. Bu veriler ışığında Türkiye 2010-2020 yılları arasında ormanlardan enerji ve hammadde kaynağı temini anlamında hem orman varlığını arttırmakta hem de sürdürülebilir bir politika izlemektedir. Buna bağlı olarak da biyokütle kaynaklı enerji üretimi artmaktadır. Ormandaki yer üstü biyokütle stoklarının belirlenmesi ve izlenmesi kurulacak biyokütle enerji santrali tipinin belirlenmesinde, orman kaynaklı biyokütleden enerji üretim metodunun belirlenmesinde, orman kaynaklı biyokütle hammaddesinin sürekliliğinin sağlanmasında kritik öneme sahiptir.

7.6. Türkiye'de Orman ve Ağaç Endrüstrisi Atıklarının Enerji Dönüşüm Verileri

TÜİK 2020 verilerine göre Türkiye'de oluşan toplam atık miktarı 2020 yılında 104,8 milyon ton olduğu saptanmıştır. Oluşan atıkların 30,9 milyon tonu tehlikeli atık kategorisinde yer almakta olup 73,9 milyon ton artış kaydetmiştir. Türkiye'de 2020 yılında imalat sanayi işyerlerinde toplam 23,9 milyon ton atık oluşmuştur. Bu atıkların 4,6 milyon tonu tehlikeli atık kategorisinde yer almaktadır. Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ve basım sanayi atıkları imalat sanayi atıklarının %4,7'lik bir kısmını oluşturup 1,123 milyon ton düzeyinde atık oluşturmuştur. Ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı atıkları imalat sanayi atıklarının %0,8'lik payına sahip olup 2020 yılında toplam 0,1912 milyon ton atık oluşturmuştur. Türkiye'de 2020 yılında mobilya ve diğer

imalatlar, makine ve diğer ekipmanların kurulumu ve onarımlarının toplam atık miktarı imalat sanayi atıklarının %1'lik payına sahip olup 0,239 milyon ton atık elde edilmiştir. Türkiye'de 2020 yılında ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı, kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ve basım sanayi, ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı, mobilya ve diğer imalatlar, makine ve diğer ekipmanların kurulumu ve onarımları da başta olmak üzere imalat sanayi işyerlerinde oluşan atıkların %56,3'ü satılmıştır veya lisanslı atık işleme tesislerine gönderilmiştir. 2020 yılında imalat sanayi işyerlerinde oluşan atıkların %24,2'si sistemli bir şekilde yayılıp sıkıştırıldıktan sonra üzerleri günlük olarak kapatıldıktan sonra depolama tesislerine gönderilmektedir. İmalat sanayi işyerlerinde atıklarının %7,1'i işyeri alanlarına ait yerlerde biriktirilmektedir. Atıkların %7'si tesisin kendi içerisinde geri kazanılmaktadır. İmalat sanayi işyerlerindeki atıkların %3,2'si yerel yönetimler veya organize sanayi bölgeleri gözetimi tarafından toplanmıştır. 2020 yılında imalat sanayi işyerleri atıklarının %1,7'si santral ve tesislerde yakıt olarak kullanılmak için veya çöplerin hacmini azaltmak için kullanılmıştır. 2020 yılında imalat sanayi işyerleri atıklarının %0,4'ünün doğaya yeniden dönüşümü sağlanmış olup, %0,1'i ise diğer metotlarla bertaraf edilmiştir (TÜİK, 2020).

Türkiye 2020 yılında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2020 enerji denge tabloları verilerine göre ağaç ve ağaç ürünleri imalatında 878.000 ton biyoenerji atığı elde etmiştir. Ağaç ve ürünleri imalatı kökenli Türkiye 2,145 GWh elektrik elde ederken 65.000 TEP ısı elde etmiştir. Türkiye kağıt ve ürünleri imalatından 16.000 ton atık biyoenerji madde elde etmiştir. Türkiye kağıt ve ürünleri imalatından 2020 yılında 3,791 GWh elektrik elde ederken 194.000 TEP ısı elde etmiştir.

Türkiye'de ithal atıklar dahil olmak üzere 2018'e göre işlenen atık miktarı %22'lik artış kaydetmiş olup 2020 yılında atık işleme tesislerinde 127,4 milyon ton atık işlenmiştir. Türkiye'de atık işleme tesislerinde bulunan atıkların 49,1 milyon tonu ise geri dönüştürülmüş olup 78,3 milyon tonu bertaraf edilmiştir. Türkiye'de 2020 yılında toplam 1,3 milyon ton atık yakılarak enerji elde edilmiştir. Bir başka deyişle Türkiye'de 2020 yılında toplam 1,3 milyon ton atıktan biyokütle dönüşüm ve çevirim tekniklerinden biri olan beraber yakma (ko-insinerasyon) lisanslı kuruluşlarda biyokütleden enerji üretilmiştir.

7.7. Orman Biyokütlesinin Enerjiye Dönüşüm Yöntemleri ve Kullanım Alanları

Orman biyoenerji potansiyeli alternatif biyoyakıtlara dönüştürülebilir. Bu işlem, fiziksel prosesler, termokimyasal prosesler, kimyasal prosesler ve biyolojik proseslerdir. Bununla birlikte biyofotoliz işlemler son yıllarda dönüşüm yöntemleri arasında yavaş yavaş yaygınlaşmaktadır. Fiziksel presesler öğütme, kurutma, pelletleme ve biriketleme işlemlerini kapsamaktadır. Termokimyasal proseslerin başlıcaları ise yakma, piroliz (torrefaksiyon, yavaş piroliz ve hızlı piroliz), gazlaştırma ve hidrotermal proseslerden oluşmaktadır. Biyokütleden enerjiye çevrim teknolojileri arasında olan piroliz, gazlaştırma, fermantasyon ve anaerobik çürütme metotları, orman kaynaklı biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesinde kullanılmaktadır. Elde edilen enerji, konut sektöründe ısınma ve ulaşımda yakıt gereksiniminin giderilmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde bitkisel yağlar ve bio-alkoller içten yanmalı motorlarda, fırınlarda veya kazanlarda yakıt olarak kullanılabilmektedir. Bununla birlikte biyogaz evlerde veya sanayide yakıt olarak da kullanılmaktadır. Bu bağlamda Türkiye, zengin orman biyokütle enerji kaynağı ile enerji ihtiyacının karşılanmasında diğer ülkelere olan dışa bağımlılığını azaltılabilme potansiyeline sahiptir (Taner & Ustun, 2021).

Tablo 41. Biyokütle Ve Kömürün Daha Yüksek Isı Değerlerinin Karşılaştırılması (Nulocnes, & Catalão, 2014)

Yakıt Formu	HHV (MJ/kg)
Odun	10-20
Bağ budama	14-18
Pirinç kabuğu	12-14
Talaş	12
Ahşap peletler	20
Kömür	28
Yosun	33

Tablo 41'de öncelikle odun kaynaklı olmak üzere biyokütle enerji kaynakları ile kömürün ısı değerleri karşılaştırılmıştır. Odun veya atık odundan üretilen peletler, kojenerasyon sistemlerinde elektrik üretmek, ısınma ve biyoyakıt üretimi amaçlı kullanılmaktadır. Odunun ısı değeri materyalin kaynağına göre 10 MJ/kg ile 20 MJ/kg değerleri arasındadır. Bu değer bağ bozumu ile ortaya çıkan kalıntılarda 14 MJ/kg ile 18 MJ/kg, pirinç kabuğunda 12 MJ/kg ile 14 MJ/kg değerleri arasındadır. Talaşın ısı değeri 12 MJ/kg, ahşap peletlerin 20 MJ/kg, yosunun ise 33 MJ/kg değerine sahip

olduğu Tablo 41'de verilmiştir. Yosun Tablo 41'de paylaşılan yakıt formları arasında en fazla ısı değerine sahip enerji kaynağıdır. Yosunlar biyokütle enerji kaynağı olup özellikle jetlere yakıt üretiminde değerlendirilmektedir. Yosundan enerji ihtiyacının karşılanması daha çok yeni bir kavram olup üzerine teknolojik, altyapı ve ar-ge çalışmaları yoğun bir şeklinde devam etmektedir. Kömürün sahip olduğu termal değer ise 28 MJ/kg düzeyindedir. Kömür, odun ve oduna dayalı enerji kaynaklarına göre daha yüksek termal değere sahip olmasına karşın verimlilik açısında daha kötü performans sergilemektedir. Biyokütle enerji kaynağı yakıtlar hem maliyet hem de atmosfere yayılan sera gazı miktarı anlamında kömüre göre çok daha avantajlıdır.

Endüstriyel ve ticari biyokütle yakma tesisleri, ağaç biyokütlesi başta olmak üzere tarım atıkları, şehir kaynaklı atıklar ve daha birçok atık türü olmak üzere yakılarak elektrik üretiminde ısınma ihtiyacının karşılanmasında ve yakıt üretiminde kullanılmaktadır. Günümüzde biyokütle materyalinin fırınlarda yakılarak enerjiye dönüştürülmesi en geleneksel yakma teknolojileri arasında yer almaktadır. Fırınlarda ve çok daha gelişmiş yüksek teknolojiye sahip yakma tesislerinde biyokütle materyalinin yanması sonucu çok yüksek değerlere sahip sıcaklık elde edilmektedir. İşlem ile birlikte aynı zamanda çok yüksek basınç değerine sahip buhar da ortaya çıkmaktadır. Elde edilen buhar, buhar türbinden geçirilerek %17-25 verim aralığı ile elektrik enerjisine dönüştürülür. Orman kalıntıları, budama ile elde edilen kalıntılar, enerji bitkileri ile ortaya çıkan atıklar, kağıt, maden direği sanayi odunu ve diğer orman endüstrisi atıkları başta olmak üzere kombine ısı ve güç sistemi ilkesine dayanan yüksek randıman sağlayacak kojenerasyon prosesleri ile verim %85'e kadar arttırılabilmektedir (Taner, & Ustun, 2021).

Tablo 42. Biyokütle, Biyokütle Dönüştürme Yöntemleri, Yakıtlar Ve Uygulama Alanları (ETKB, 2019)

Biyokütle	Dönüştürme yöntemi	Yakıtlar	Uygulama alanları
Orman atıkları	Anaerobik sindirim	Biyogaz	Elektrik enerjisi üretimi, taşıma araçları, ısıtma
Tarımsal atıklar	Piroliz	Etanol	Isıtma, ulaşım araçları
Enerji bitkileri	Doğrudan yanma	Hidrojen	Isıtma
Hayvan atıkları	Fermantasyon ve anaerobik sindirim	Metan	Taşıma araçları, ısıtma
Çöp (organik)	Gazlaştırma	Metanol	Jet motorları
Yosun	Hidroliz	-	Sentetik yağ, roketler
Enerji ormanları	Biyofotoliz	Otomotiv gaz yağı	Kurutma
Bitkisel ve hayvansal yağlar	Esterleşme reaksiyonu	Dizel yakıt	Taşıma araçları, ısıtma, seracılık

Tablo 42'de Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2019 yılında yayınlanan verilere göre biyokütle kaynağı materyal çeşidi, biyokütle dönüştürme yöntemleri, yakıtlar ve uygulama alanları ayrıntılı bir şekilde belirtilmiştir. Orman atıkları anaerobik sindirim yöntemi ile yakıt olarak biyogaz elde edilerek elektrik ve ısınma ihtiyacının karşılanmasında kullanılmaktadır. Türkiye'de orman biyokütle enerji santrallerinde orman kalıntı biyokütlesinden elektrik üretimi ısı üretimine göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Yine aynı zamanda orman atıkları biyoetanol ve biyodizel üretiminde yakıt olarak başta Şili, Brezilya, ABD, Kanada ve bazı AB üyesi ülkelerde yakıt olarak değerlendirilmektedir. Enerji bitkileri ise doğrudan yakma çevirim yöntemi ile yakıt olarak hidrojene çevrimi sağlanabilmektedir. Enerji bitkileri günümüzde ısınma amaçlı kullanılmaktadır. Enerji ormanları son yıllarda yaygınlaşan biyofotoliz dönüşüm teknolojisi ile otomobil sektöründe gaz yağı olarak kullanılmakta olup kurutma uygulama alanında kullanılmaktadır. Yine aynı şekilde bitkisel yağlar esterleşme reaksiyonu dönüşüm teknolojisi ile dizel yakıt elde edilmekte olup ısınma ve özellikle taşıma araçlarının yakıtı olarak kullanılmaktadır. Gelecekte biyokütle enerji santralleri ile güneş enerjisi sistemlerinin kombine hale getirilmesi yönünde bazı çalışmalar gerçekleştirilmekte olup biyokütle enerji teknolojilerinde hidrojen ile yakın etkileşim içinde olduğu görülmektedir.

7.8. Orman Köylerinin ve Kaçak Ağaç Kesimlerinin Enerji Üretimine ve Ormanların Sürdürebilirliliğine Etkisi

Türkiye 2022 yılında 84 milyon nüfusa sahip bir ülkedir. Orman köylerinde yaşayan insan sayısı günümüzde 7 milyon düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir.

Tablo 43. Türkiyenin Orman Köyü Sayısı Ve Nüfusu (OGM, 2020)

Yıl	Orman Köyü Sayısı (Adet)	Nüfus (Adet)
2012	14.212	4.931.551
2013	21.549	7.332.264
2014	21.723	7.157.826
2015	22.343	7.096.483
2016	22.661	7.114.577
2017	22.712	7.013.592
2018	22.847	6.827.500
2019	22.941	6.970.077
2020	23.100	7.034.738

Tablo 43'de Türkiye'de 2012-2020 yılları arasındaki orman köylerinin ve orman köylerinde yaşayan insanların sayıları verilmiştir. Türkiye'de 2012 yılında orman köyü sayısı 14.212 adettir. 2012 yılında orman köyünde yaşayan insan sayısı ise 4.931.551 adettir. Türkiye'de 2012 yılından sonra orman köyü sayısı 2020 yılı da dahil olmak üzere sürekli artmıştır. Buna karşın 2013 yılından sonra orman köyünde yaşayan insan sayısı küçük artış ve azalışlar içerisinde hareket etmiştir. Türkiye'de 2020 yılında toplam orman köyü sayısı 23.100 adet olup orman köylerinde yaşayan insan sayısı ise 7.034.738'dir. Türkiye'de yaşayan orman köylüleri yemek pişirme, banyo yapma, bulaşık ve çamaşır yıkama başta olmak üzere geleneksel metotlarla enerji ihtiyaçlarını karşılamasından dolayı orman biyokütle enerji kaynağı materyallerinin etkin, verimli ve tasarruflu kullanılamamasına sebebiyet vermektedir. Geleneksel biçimde kontrolsüz olarak enerji ihtiyaçlarının ormandan karşılanması atmosfere salınan zararlı gazların miktarının artmasına, kişi başına düşen karbon ayak izi miktarının artmasına, erozyon, sel ve taşkınların sayısı ve yüzeysel akış hızının artmasına, biyoçeşitliliğin azalmasına ve doğal yaşamın ve ekosistemin olumsuz etkilenmesine de sebebiyet vermektedir. Günümüzde yaygın olarak hem ev temizliği hem de bireylerin kişisel temizliğini yapabilmesi için yaşadığı konutun temizlenmesi, giysilerinin yıkanması, yeme-içme için kullandığı materyallerin temizlenmesi ve banyo yapabilmesi için odun yakılarak yıllık

150 litre su ocaklarda veya geleneksel sobalarda ısıtılarak kullanılmaktadır. Türkiye'de yaşan bir aile senelik 5 ster düzeyindeki enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yakacak odun tüketmektedir. Geleneksel yöntemlerle yakılan bir odunun %13 düzeyindeki miktarı etkin ve verimli olarak enerji gereksiniminin giderilmesi noktasında kullanılabilmektedir. Geriye kalan %87'lik kısım ise etkin ve verimli kullanılamayarak atmosfere bırakılmaktadır.

Türkiye orman köylüsünün yaşam kalitesini artırmak, en önemli biyokütle enerji materyallerinin başında gelen odunun kontrolsüz tüketimini engellemek, geleneksel biyokütle materyalinden modern biyokütle enerjisi kullanımını arttırmak, orman varlığının korunması amacıyla orman köylüsüne su ısıtabilmesi için güneş enerjisini etkin ve verimli kullanımını sağlayacak güneş enerjisi kaynaklı ısıtma sistemleri temini, kat kalorifer sistemi, konut içerisinde enerjinin tasarruflu ve verimli kullanılabilmesini sağlayacak dış cephe mantolama başta olmak üzere birçok konuda faizsiz destek hizmeti sunmaktadır. Bu kapsamda Türkiye 2004 yılında 31, 2008 yılında 20.684, 2009 yılında 20.735 aileye güneş enerjisi kullanılarak su ısıtma sistemleri için destek vermiştir. Güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerinin ülke genelinde çok daha fazla kullanılmaya başlanılması ile son yıllarda güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerine verilen destek talebinde oldukça azalma olmuştur. Bu kapsamda yalnızca 212 haneye 2019 yılında destek faaliyetinde bulunmuştur. Türkiye'de 2008 ile 2020 yılları arasında yekün olarak 124.454 aileye güneş enerjisi ile su ısıtma sistemi desteği sunulmuştur. Türkiye tarafından güneş enerjisi ile su ısıtma sistemi desteği sunulan projelerin geri ödeme süresi 3 ile 7 yıl arasında olup faiz oranı sıfırdır. Bu kapsamda 2008 ile 2020 yılları arasında Türkiye 881,32 ster odun tasarruf etmiştir (OGM, 2020).

Türkiye'de Orman Genel Müdürlüğü ile Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'nın (UNDP) ortak çalışması ile enerjinin ve orman biyokütlesinin korunması kapsamında güneş enerjisinden faydalanarak elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. 2020 yılının ortalarında 154 ev, güneş enerjisinden şebekeye ihtiyaç duyulmaksızın elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Türkiye 2020 yılı sonu itibari ile 630 ev daha güneş enerjisinden elektrik üretimine ilave olarak enerji üretimi gerçekleştirecektir. Proje kapsamında Türkiye'de bulunan 22.931 adet orman köyünün güneş enerjisinden elektrik üretimini 2022 yılının Ağustos ayı itibari ile kendisinin karşılanması

hedeflenmektedir. Proje tamamlandıktan sonra orman köylerinin toplam 30 MW düzeyinde kurulu güce ulaşacağı ön görülmektedir.

Türkiye'de orman köylerinde su ısıtma sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması, kat kalifer sistemleri ile dış mantolama sistemlerine faizsiz geri ödemeli destek sunulması, biyokütle enerji kaynağı olan orman varlığının üzerindeki olumsuz etkileri azaltacaktır. Yine aynı şekilde güneş enerjisinden elektrik üretimi ile biyokütle enerjisinin etkin ve geleneksel yöntemlerle zarar görmesinin engellenmesinde önemli rol oynayacaktır.

Türkiye'de başlıca orman suçları; kaçak kesim, kaçak nakil, alan açma, ormanlık alanın işgal edilmesi, izinsiz otlatma ve orman ürünlerini izinsiz sarf etmedir.

Tablo 44. Türkiye'de Yıllara Göre Orman Ağaçlarını Kaçak Kesme Suçu Sayısı Ve Kesilen Ağaç Miktarı (OGM, 2020)

Yıl	Kaçak Kesim Suçu Sayısı (Adet)	Kesilen Ağaç Miktarı (m^3)
2010	4.114	18.712
2011	3.742	18.739
2012	4.149	19.297
2013	3.620	19.844
2014	3.519	66.378
2015	2.944	18.326
2016	2.891	17.616
2017	2.993	20.305
2018	2.880	26.483
2019	3.356	33.742
2020	4.532	68.756

Türkiye'de 2010-2020 yılları arasında orman ağaçlarını kaçak kesme suçu sayısı adet cinsinden, miktarı ise m^3 cinsinden ifade edilerek Tablo 45'te verilmiştir. Türkiye'de 2010 yılında toplam orman suçu sayısı14.813 tanedir. Yine bu kapsamda 2010 senesinden başlayarak 2015 senesi dahil olmak üzere geçen zaman diliminde işlenen bütün orman suçlarının toplamında eksilme yaşanmış olup, 2015 senesi itibari ile işlenen bütün orman suçu sayısı 8.813 adet olarak gerçekleşmiştir. 2015 yılından sonra toplam orman suçu sayısı giderek artmaya başlamıştır. 2018 yılında toplam orman suçu sayısı 11.112 tanedir. 2019 yılında Türkiye'de toplam orman suçu sayısı 12.091 adettir. 2020 yılında Türkiye toplam orman suçu sayısı ise 16.110 adet düzeyine çıkmıştır. Türkiye'de 2010 yılında gerçekleşen orman suçlarının 4.114 tanesi kaçak

orman ağacı kesim sayısı olup, 18.712 m^3 miktarında kaçak kesim gerçekleşmiştir. Türkiye'de 2010 ile 2020 yılları arasında 2018 yılına kadar olan zaman diliminde kaçak orman ağacı kesim suçu sayısı azalmış olup 2019 yılı ile birlikte tekrar artışa geçmiş durumdadır. Türkiye'de 2010-2020 yılları arasında kaçak orman ağacı kesim suçu sayısı kapsamında kesilen orman ağaç miktarı yıllara göre dalgalı bir şekilde artış ve azalış göstermiştir. Türkiye 2010-2020 yılları arasında miktar olarak kanunsuz yollarla en çok orman ağacı kesilen 2020 yılında, 68.756 m^3 düzeyinde kaçak kesim olmuştur. Yine 2020 yılında kaçak nakledilen orman ürünü suçu 1.795 adettir. Kaçak olarak nakledilen orman ürünü miktarı ise 8.530 m^3 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye'de ormandan usulsüz alan açma suçu sayısı 5.096 adettir. Türkiye'de usulsüz olarak açılan orman alanı büyüklüğü 2020 yılında ise 22.706 dekar alan olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'de 2020 yılında usulsüz orman alanı işgali suçu sayısı 4.642 adettir. Usulsüz işgal edilen alan büyüklüğü ise 2020 yılında 17.369 dekar büyüklüğündedir. Türkiye'de usulsüz orman ürünleri sarf etme suçu 2020 yılında 92 adettir. Usulsüz orman ürünlerinden sarf edilen ağaç miktarı da 146 m^3 olarak gerçekleşmiştir. Geçmişten günümüze kadar orman suçlarını işleyen ama yakalanamayan bireylerin sayısı çok daha fazla olduğu söylenebilmektedir. Örneğin; Karadeniz bölgesinde bulunan ve orman varlığı olarak son derece zengin biyokütle enerji materyaline sahip olan Trabzon şehrine bağla Maçka ilçesinin hudutları içerisinde kanun dışı yöntemlerle ormandan odun temin etme ve klasik yöntemlerle biyokütleden enerji elde etme olarak değerlendirilen yakacak odun olarak istifade edilmesine yönelik bir durum tespiti yapılmıştır (Türker, 1992) Maçka'da 70 köyü içeren yapılan çalışma sonucu kanun dışı yöntemlerle odun elde etme ve yine kanunsuz yakacak odun kullanımı 92,7 bin ton odun elde edilmiş veya tüketilmiştir. Bir başka ifade ile 26.000 TEP düzeyinde enerji miktarı kullanılamamıştır (Türker, 1992). Bu konu hakkında bir başka araştırma Türkiye'nin Bolu şehrinin Mudumu ve Yığılca ilçerini kapsamaktadır. Bolu şehrinin Mudurnu ve Yağlıca ilçe hudutları içerisinde devlet ormanlarından kanunsuz odun temin edildiği saptanmıştır. Araştırma sonucu olarak Orman köylerinden senede 70.000 m^3 odun kanunsuz yollarla mülkiyeti Türkiye Cumhuriyeti'ne ait kamu ormanlarından temin edildiği tespit edilmiştir. Bir başka ifade ile 33.000 TEP düzeyinde enerji miktarı kanunsuz bir biçimde kullanılamamıştır (Taraklı, 1990). Bu kapsamda ormanlardan kanunsuz olarak insanların enerji ihtiyacını karşılaması için odun temin etme bazı doğu ve güneydoğu

bölgelerinde daha fazla miktardadır (Temerit, 1988). Türkiye'de senelik mülkiyeti devlete ait ormanlardan toplam yaklaşık olarak 1.000.000 ton odun Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde insanların enerji gereksinimlerinin giderilmesi amacıyla hukuki olmayan yollar ile tüketilmektedir (Erdoğan, 1994).

BÖLÜM 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, insanların yaşamındaki ihtiyaçlarının karşılanması ve yaşamın sürdürebilirliği için hem yerel hem küresel ölçekte en önemli vazgeçilmez gereksinimler arasındadır. Sanayi devriminden sonra yaşanan hızlı teknolojik gelişmeler, teknolojinin insan yaşamında daha etkin kullanılmaya başlanılması ve hızlı nüfus artışı ile her geçen gün bireyler ve ülkeler için enerjiye olan gereksinim artarak devam etmektedir. Fosil yakıtların doğaya vermiş olduğu zararlar ve yakın gelecekte de tükenme ihtimali, enerji gereksiniminin yenilenebilir kaynaklardan karşılama anlayışını günümüzde hakim kılmıştır. Türkiye ve diğer ülkeler enerji ihtiyaçlarını karşılama noktasında enerji temin kaynaklarını çeşitlendirmeye, yenilenebilir kaynaklardan enerji gereksinimini karşılamaya ve enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltma stratejisi izlemektedir. Tam da bu noktada biyokütle enerjisi insanlık tarihi kadar eski ve yeryüzünde en yaygın bulunan enerji kaynağı olma özelliği ile dikkat çekmektedir. Biyokütle enerjisi sadece ısınma amaçlı değil, elektrik üretimi, yakıt olarak kullanımı ve aydınlatma gereksiniminin karşılaması sebebi ile çok yönlü kullanılabilen birincil enerji türüdür. Kentsel, hayvansal, ormansal ve tarımsal atıklar başlıca biyokütle enerji kaynakları arasındadır.

Günümüzde biyokütle enerji teknolojileri yemek pişirme, soba ateşinde ısınma gibi geleneksel yöntem ve çeşitli dönüşüm teknolojileri ile elektrik, yakıt ve ısınma ihtiyacın karşılanmasında yaralanılan modern yöntem olmak üzere biyokütleden enerji elde edilmesinde iki temel yöntem bulunmaktadır. Modern biyokütle dönüşüm işlem ve teknolojileri; fiziksel prosesler, termokimyasal prosesler, biyolojik ve kimyasal proseslerden oluşmaktadır.

2019 yılında küresel ölçekte yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretimi en fazla biyokütle enerjisinden sağlanmıştır. Biyokütle, biyoyakıt ve atıklardan üretilen enerji değeri 56,539 EJ değerindedir. 2019 yılında biyokütle enerjisi küresel ölçekte 1,341 EJ enerji miktarı değerinde enerji ithalatı ve 1,076 EJ enerji miktarı değerinde biyoenerji ihracatı gerçekleşmiştir. Biyokütle enerji materyallerinin depolanabilir olması, her zaman temin edilebilir olması ve aynı zamanda yeryüzünde en yaygın bulunan yenilenebilir enerji kaynağı olması sebebi ile en fazla enerji üretimi, ithalatı ve ihracatı

gerçekleşen yenilenebilir enerji kaynağı pozisyonundadır. 1980 ile 2000 yılları arasında dünya birincil enerji kaynakları tüketimindeki payı %10,5 düzeyindeyken 2000'li yıllardan sonra azalışa geçmiş olup 2018 yılındaki payı %9,5 olarak belirlenmiştir. 2035 yılında ise bu payın %9,3'e ineceği ön görülmektedir. Bu azalışın başlıca sebepleri modern biyokütle enerjisi teknolojisindeki gelişmeler, diğer yenilenebilir enerji yatırım ve teknolojilerinde olan gelişmeler ve aynı zamanda küresel ısınma ve iklim değişikliklerinin getirdiği sonuçlar olduğu öngörülmektedir. Küresel ölçekte birincil enerji kaynakları tüketimi kapsamında biyokütle kaynaklı enerji tüketim miktarı günümüze kadar sürekli artmış olup, gelecekte 2035 projeksiyonuna kadar da artacağı öngörülmektedir. Dünyada yenilenebilir enerji türlerinin istihdam sayıları itibari ile en fazla istihdamın sağlandığı güneş enerjisi kökenli santrallerden sonra sıvı biyoyakıt kökenli işletme santralleri 2.063.000 kişi ile ikinci sırada yer almaktadır. Katı biyokütle santrallerinde bu değer 787.000 kişi, biyogazda 334.000 kişi, endüstriyel atık ile atık ısıda 41.000 kişi olarak saptanmıştır. Bu yönüyle biyokütle enerjisi güneş enerjisinden sonra en fazla insana istihdam sağlayan, ülkelerde işsizlik sorununa çözüm bulan, yörenin sosyo-ekonomik yapısına katkı sunan bir enerji kaynağı pozisyonundadır.

Türkiye dört mevsimi belirgin bir şekilde yaşayan, genç nüfusu oldukça fazla, biyoçeşitlilik açısından zengin kaynaklara sahip, Akdeniz, Karadeniz ve karasal iklimin hüküm sürdüğü zengin biyokütle enerjisi materyaline sahip ülke durumundadır. Çeşitli kaynaklarda yapılan çalışmalarda Türkiye'nin enerjisi potansiyeli 14 MTEP ile 32 MTEP arasında olduğu belirtilmiştir. Bu farklılığın sebebi hesaplama yönteminin farklılık göstermesi ve biyokütle enerjisi potansiyelinde görülebilecek materyal seçimindeki farklılıklar başta gelen nedenler arasındadır. Tahıl üretim ve çeşitliliği açısından Türkiye'nin İç Anadolu bölgesi oldukça zengin olup biyokütle enerji potansiyeli 8 Milyar KWh düzeyinin üzerindedir. Benzer şekilde Türkiye'nin Marmara, Güney Ege, Güney Anadolu'nun doğusu ile Akdeniz'in doğusu biyokütle enerji potansiyeli açısından zengin özellikler taşımaktadır. Doğu Anadolu, Karadeniz'in doğusu ve Güneydoğu Anadolu'nun güneydoğu kısmı biyokütle enerji potansiyeli açısından diğer bölgelere göre daha az miktarda enerji potansiyeline sahiptir. Bunun başlıca sebepleri arasında yükseltinin fazla olması, engebeli arazi yapısına sahip olması ve yaşayan nüfus miktarının olduğu bu çalışması kapsamında tespit edilmiştir. Türkiye'nin İç Anadolu bölgesinde yıllık biyokütle enerji potansiyeli en yüksek

olmasına karşın batı bölgelerinde biyokütleden temin edilen enerji miktarı ve kurulu güç kapasitesi daha fazladır. Bu durumun temel nedenleri ulaşım ve altyapı eksiklikleri, anız yakımları, kentsel atık toplama ve yönetimindeki problemler, belirli miktarda ormansal biyokütle enerji materyalinin ormanda çürümeye bırakılması, hayvancılığın ve tarımın büyük işletmeler halinde yapılmaması, tesislerinin yetersizliği ve azlığı, inovatif ve çevirim teknolojisi yetersizlikleri, zamanında gerçekleştirilmemiş kanuni düzenlemeler ve teşvik adımları, biyokütle enerji materyali ve gıda üretimi açısından zengin olan başta Sakarya ve Kocaeli olmak üzere birçok kentte organize sanayi ve ağır sanayi fabrikalarının bulunmasından kaynaklı yanlış arazi kullanımının oldukça yaygın olması ve bunlarla birlikte vahşi sulamanın olduğu çalışma kapsamında belirlenmiştir. Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyelini etkin, yaygın, ülke içerisinde dengeli ve verimli olarak kullanılamayışının nedenlerinin çözümünün uzun zaman alacağı ve bu sorunların çözümü için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı ile birlikte, sektör temsilcileri, ilgi grup ve paydaşların birlikte bütüncül bir yol haritası izlemesi gerekmektedir. Ayrıca Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyelini belirlemeye yönelik çalışmalarda hesaplama metodu araştırmacılar ile paylaşılmalı ve kullanılan kaynaktan ne kadar enerji miktarının elde edileceği ile ilgili hesaplamalarda hangi biyokütle enerji materyali çeşitliliğinin kullanıldığı şeffaflaştırılmalıdır.

Türkiye her geçen yıl biyokütle enerji santralleri kurulu gücünü ve elektrik üretim miktarını arttırmıştır. 2020 yılında Türkiye'nin biyokütle enerjisi kurulu güç miktarı 1.485 MW düzeyindedir. 2020 yılında yenilenebilir atık ile atık ısıdan toplam 5.736,6 GWh elektrik üretmiş olup toplam elektrik üretimindeki payı %1,87 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye biyokütleden ısı üretimine ilk 2010 yılı itibari ile başlamıştır. Günümüzde Türkiye'de biyoyakıtlardan 95.323 TEP ısı üretimi gerçekleşirken atıklardan 37.355 TEP ısı üretilmiştir. Biyokütle enerjisi toplam ısı üretiminin %10,2'sini oluşturmaktadır. Türkiye kısa sürede biyokütle enerji materyallerinden ısı üretimini hızla arttırmıştır. Bu durumun temel sebepleri atık kategorisine kentsel atıkların dahil edilmesi, daha iyi bir atık yönetimi, biyokütle materyalini ısıya çevirecek işlemlerin ve dönüşüm teknolojilerinin uygulamaya geçilmesi, gerekli yatırım ve teşviklerdir. Türkiye'de 2030 yılında planlanan modern biyokütle enerji yöntemleri ile biyoenerji üretimi 4940 TEP enerji düzeyinde olup geleneksel yöntemler ile planlanan enerji üretim miktarı ise 3300 TEP enerji düzeyinde olacağı öngörülmektedir. Bu veriler

ışığında Türkiye'nin biyokütle enerjisi kurulu gücü ve elektrik üretim miktarları geçmişten günümüze artmış olup gelecek projeksiyonunda da artmaya devam edeceği öngörülmektedir. Bu kapsamda Türkiye bu olumlu tablo ile birlikte sürekli güncel kalacak şekilde sektör temsilcilerine hukuki destek, düzenleme ve teşviklerde bulunmalıdır. Türkiye'de kentsel atıklardan ısı üretimi 2015 yılından itibaren başlamışken AB ülkelerinde 2000'li yıllar itibari ile başlamıştır. Türkiye geç kamasına rağmen kentsel atıklarla ilgili yapılan hukuki düzenleme ve teşvikler sonucunda ısı üretim miktarı kısa sürede oldukça artmıştır. Bu durumun daha iyi atık toplama ve yenilikçi teknolojiler ile atıkları ısıya dönüşüm miktarları ivedilikle arttırılması sağlanmalıdır. Türkiye'de biyokütleden enerji üretiminde modern yöntemlerden elde edilen enerji miktarı ile geleneksel yöntemlerden elde edilen enerji miktarının 2023 yılında eşit düzeyde gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. Türkiye modern biyokütle enerji yöntemlerinin kırsal alanlarda kullanımını yaygınlaştırmalı, kırsal alanlarda klasik biyokütleden elde edeceği enerji miktarını azaltmak için başta güneş enerjisi olmak üzere diğer yenilenebilir enerji kaynaklarını daha etkin ve yaygın kullanmalıdır. Türkiye klasik biyokütle enerji yöntemlerinin kullanımını çok daha kısa sürede azaltmalıdır.

Bir biyokütle enerji santralinin verimliliği ve işletme performans göstergeleri arasında kapasite faktörü, emre amaelik oranı ve ortalama çalışma süresi önemli göstergeler arasındadır. Bu göstergeler arıza hali, güneşlenme süresi, rüzgar esme sıklığı, rüzgar esme şiddeti, yağan yağış miktarı, optimum sıcaklık miktarı ve enerji üretimi için gerekli hammadde miktarı gibi birçok etkenden etkilenmektedir. Biyokütleden enerji üretiminde bu göstergelerin etki miktarının oldukça az seviyede olduğu tespit edilmiştir. 2020 yılında Türkiye'de biyokütle emre amadelik oranı %71,68 düzeyinde gerçekleşerek güneş enerji santralleri, rüzgar enerji santralleri, akarsu tipine sahip hidroelektrik santralleri ve yerli kömür enerji santrallerine göre daha iyi performans göstermiştir. Kapasite faktörü anlamında biyokütle enerji santrallerinin yıllık çalışma saati 7.500 saat olmuş olup yıllık kapasite faktörü ise %85 düzeyinde gerçekleşmiştir. Bu performansı ile yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjiden sonra en iyi performansı gösteren enerji kaynağı durumundadır. Ortalama çalışma oranı anlamında biyokütle enerji santralleri rüzgar, güneş ve hidrolik kökenli enerji santrallerine göre daha üstün performans göstermektedir. Bununla birlikte biyokütle enerji santralleri termik enerji santrallerine göre de ortama çalışma oranı ile

daha iyi performans göstermiştir. Türkiye'de biyokütle enerji santralleri kapasite faktörü, yıllık çalışma saati, emre amadelik oranı, ortalama çalışma oranı itibari ile çoğu yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynağına göre çok daha iyi performans göstermiştir. Zengin biyokütle enerji kaynağına sahip olan Türkiye'nin işletme performansı oldukça iyi olan biyokütle enerjisi kurulu gücünün ivedilikle arttırması yararlı olacaktır. Biyokütle enerji santrallerine olan hammadde ihtiyacı ve biyokütle enerji materyallerinin depolandığı yer boyutunun alansal olarak arttırılmasına ayrıca ihtiyaç bulunmaktadır.

Biyokütle enerji santrallerinin ilk yatırım maliyeti 4.114 $/kW düzeyinde gerçekleşmektedir. Diğer yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarına göre ortalama bir ilk yatırım maliyetine sahiptir. Sabit işletme maliyeti anlamında biyokütle enerji santralleri tüm enerji kaynakları arasında 105,63 $/kW ile yıllık en fazla maliyete sahip enerji kaynağı durumundadır. Bununla birlikte değişken işletme maliyeti olarak da 5,26 $/MWh ile en fazla maliyete sahip enerji santrali yine biyokütle enerji santralleridir. Bu yüksek maliyetlerin azaltılması için biyokütle enerji santrallerinde kullanılacak makinelerin ve ekipmanların Türkiye'de yerli olarak üretilmesi çalışmalarına hız verilmelidir. İlk yatırım maliyetini azaltmak için enerji santralinin kurulacağı saha çok daha hassas bir şekilde incelenmeli ve tüm fizibilite çalışmaları dikkatli bir biçimde yapılmalıdır. İlk yatırım maliyetini arttıracak gereksiz harcamalardan kaçınılmalıdır. Periyodik yenileme gerektiren makine ve ekipman değişimi zamanında yapılmalıdır. Bununla birlikte bakım gerektiren işlemler zamanında yapılıp enerji santralinde meydana gelecek arızaların ve arıza süresinin işletmeyi zarara uğratmasının önüne geçilmelidir. Bununla birlikte enerji santraline saha tahsisi, makine ve ekipman alımı ile birlikte her türlü harcama için teşvik, vergi indirimi, vergi muafiyeti imkanı ve nakdi destek miktarları arttırılmalıdır. Ekonomik ömrü diğer yenilenebilir enerji kaynaklı santrallere ortalamanın üzerinde olan ve teknik ömrü en uzun ikinci yenilenebilir enerji kaynağı olan biyokütle enerji santralleri için her türlü ömrünü uzatacak tedbirler ve destek donatıların satın alınması, işletmenin karı ve üretilecek enerji miktarı açısında oldukça önemli kriterler olup dikkat edilmesi gerekmektedir.

Türkiye'de alternatif enerji kaynağına dayalı üretim tesisi ve santrallerinde 30.06.2021 tarihine kadar geçerli fiyat (ABD Doları sent/kWh) cinsinden tarife fiyatını kullanırken 1.07.2021 tarihinden itibaren geçerli fiyat (TL kuruş/kWh) cinsinden tarife garantisi benimsemiştir. Bu kapsamda 1 ABD Dolarını 8 Türk Lirası olarak kabul etmiştir. Bu geçiş ile birlikte ABD Doları sent/kWh cinsinden tarife fiyatı düşünüldüğünde çöp gazı, atık lastik için 13,3 ABD Doları sent/kWh olan tarife garantisi 4 ABD Doları sent/kWh kabul edilmiş, biyomatanizasyon için 13,3 ABD Doları sent/kWh olan tarife garantisi 6,75 ABD Doları sent/kWh olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte termal bertaraf için 13,3 ABD Doları sent/kWh olan tarife bedeli 6,25 ABD Doları sent/kWh tarife garantisine düşmüştür. Fiyat garantilerinde ABD Doları sent/kWh cinsinden bakıldığında çöp gazı, atık lastik kaynaklı enerji üretim tesislerinde tarife garanti desteğinde %70'lik, biyomatanizasyon için %49'luk, termal bertaraf için %53'lük azalış gerçekleşmiştir. Dolar kurundaki güncel değişimlerin makine, ekipman ve diğer harcamaların fiyat artışında etkisi oldukça fazladır. Günümüzde Türkiye'de güncel olarak uygulanan yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleme mekanizması fiyatları yeniden değerlendirilerek tarife garantisi destek fiyatları ivedilikle arttırılmalıdır. Bu durumda biyokütle enerjisi başta olmak üzere diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretim miktarı ve kurulu güç miktarındaki artış her geçen yıl süreklilik gösterecektir.

Ormanların karbon tutma, yenilenebilir enerji kaynağı olma, biyoçeşitliliği sağlama ve karbon ayak izini azaltma gibi birçok ekosistem hizmeti bulunmaktadır. Orman biyokütle materyalleri günümüzde çeşitli kimyasal ve fiziksel işlemlere tabii tutularak yakıt, elektrik ve modern ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Günümüzde Baltık ülkelerinin ısınma ihtiyacının %50'sinden fazlasını orman kaynaklı biyokütle enerji materyali olan odun, atık ve odun yongalarından sağlamaktadır. Danimarka'da ise biyokütle materyalinden enerji elde etme konusunda hem ısı hem de elektrik üretimi gerçekleştirebilen dönüşüm teknolojileri itibari ile kombine sistem teknolojileri anlamında en ileri ülkeler arasındadır. Danimarka'da biyokütleden 2012 yılında 132 PJ enerji elde edilirken 2020 yılında 166 PJ düzeyinde gerçekleşmiştir. 2018 yılında Danimarka'da bölgesel ve endüstriyel ısıtmanın %50'si biyokütle enerjisinden sağlanmıştır. İsveç enerji ihtiyacının %50'sinden fazlasını ormanlardan karşılamaktadır. Kombine ısı ve enerji santralleri biyokütleden enerji üretiminde önemli katkılar

sunmaktadır. “Söğüt Koruları ile Su Kalitesinin İyileştirilmesi” adlı projeye 2007 yılından itibaren Fransa’da uygulanmaya başlamış ve hızlı gelişen ağaç türlerinden akaryakıt, ısı ve elektrik üretimi sağlanarak enerji talebinin karşılamasına olumlu bir katkıda bulunulmuştur. Günümüzde Almanya rüzgardan ve güneşten enerji ihtiyacını karşılama politikasına ağırlık vermesine rağmen yenilenebilir enerji kaynakları arasından elektrik üretiminde biyokütle enerjisi ikinci sırda bulunmakta olup, biyokütleden enerji üretimi 2010 yılında 32,6 TWh düzeyindeyken 2018 yılında 51 TWh düzeyine yükselmiştir. Orman kaynaklı enerji materyali olan ahşap pelet kapasitesini son 10 yılda %38 oranında arttırmıştır. Birleşik Krallığı oluşturan ülkelerde tarım ve ormancılık anlayışı birbirinden oldukça farklı olup orman arazilerinin büyük bir çoğunluğu devlete ait değildir. Birleşik Krallığı oluşturan ülkeler 2020 yılında biyoyakıt ve atıklardan 537.211 TJ enerji üretimi gerçekleşmiş olup yenilenebilir enerji kaynakları arasında enerji arzında birinci sırada yer almaktadır. Ayrıca 2020 yılında biyokütleden 4.205 TJ ısı elde edilmiş olup son 10 yılda katı biyokütleden ısı üretimi 107,8 kat artmıştır. 2007 yılında İngiltere’nin kısa rotasyonlu enerji bitkileri ile Miscanthus isimli enerji bitkileri yetiştiriciliği projesi, sunmuş olduğu ekonomik destekler ile enerji bitkisi yetiştiriciliğinin büyük araziler halinde uygulanması, ormansal ve tarımsal kökenli biyokütleden enerji üretiminin arttırılmasında olumlu rol oynamıştır. Bu bilgiler ışığında başarılı ülke politikaları incelendiğinde Türkiye’de Fransa’da uygulanan ve başarılı olunan Söğüt Koruları ile Su Kalitesinin İyileştirilme projesi örnek alınarak çok daha kapsamlı projelerin tasarlanıp uygulamaya geçilmesi, yetersiz sayıda olan kombine ısı ve enerji santrallerinin sayılarının arttırılması, orman biyokütlesinden enerji eldesi noktasında çevirim teknolojilerinin geliştirilip kullanılması, ormancılığın ve tarımın farklı bakanlıklar halinde temsil edilmesi ve enerji bitkileri yetiştiriciliğinde daha büyük işletmeler halinde yapılması Türkiye’de orman biyokütlesinden enerji üretimini arttırmasını sağlayacak başlıca çözümler arasındadır.

Ormanlardan ve ağaç endüstrisi kalıntılarından elde edilen biodizel, etanol gibi çeşitli yakıtlar hem saf hem de diğer fosil yakıtlar ile birlikte beraber harmanlanarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda yakıt üretiminde genellikle enerji bitkileri ile hızlı gelişen ağaç türleri tercih edilmektedir. Brezilya, Endonezya, Arjantin ve ABD gibi ülkeler tarımsal ve ormansal biyokütleden akaryakıt üretimine öncülük etmektedir.

Türkiye'de ise yıllık biyoetanol ve biyodizel üretim miktarları son derece düşük düzeydedir. HVO üretimi ise yok denecek kadar az düzeydedir. Türkiye'de biyoyakıt üretiminin arttırılması için az sayıda olan biyoyakıt enerji santrallerinin sayısının arttırılması, yatırımların ve teşvik miktarlarının arttırılması, gerekli çevirim ve dönüşüm teknolojilerindeki kısmi problemlerin giderilmesi, HVO üretiminin arttırılması için gereken bütün çalışmaların yapılması, endüstriyel plantasyon sahalarının büyüklüğünün ve niteliğinin arttırılması akaryakıtta dışa bağımlılığı azaltacak çözüm önerilerinin başında gelmektedir.

Günümüzde ülkeler baltalık orman işletme şeklinden koru orman işletme şekline geçiş sürecini hızlandırmıştır. Bu kapsamda Türkiye'de 2000'li yılların başından itibaren bu politikayı uygulamaya hız vermiştir. Böylelikle ağaç endüstrisi ve enerji hammaddesi elde edilmesinde daha etkin, verimli ve sürdürülebilir bir strateji izlemiştir. Türkiye 2005 yılında 1.439.595 ha baltalık orman alanına ve 5.749.152 ha koru ormanına sahipken 2020 yılında 1.276.634 ha baltalık ormanına ve 21.656.366 ha koru ormanına sahiptir. Bu anlayış değişikliği ile birlikte Türkiye'nin de orman alanı artmış olması karbon ayak izi miktarının azaltılmasında önemli rol oynamıştır. Bununla birlikte Türkiye'de yer üstü orman stok miktarı son yıllarda artış göstermiş olup 2019 yılında 1.029 milyon ton düzeyine ulaşmıştır. Bu değer ormanların sürekliliği açısından önemli bir parametre durumundadır. Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ve basım sanayi atıkları 1,123 milyon ton, ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı sanayi atıkları 0,1912 milyon ton, atık mobilya ve diğer imalatlar, makine ve diğer ekipmanların kurulumu ve onarımlarının toplam atık miktarı 0,239 milyon ton atık değerindedir. Son on yılda orman ve orman endüstrisinden elde edilen atık miktarı artış göstermiştir. Bu veriler doğrultusunda Türkiye'nin verimliliği oldukça düşük makilik ve çalılık alanların enerji bitki yetiştiriciliğinde değerlendirilmesine, ormansal kaynaklı biyokütle materyalinden enerji üretim miktarının arttırılmasına, ormansal kaynaklı atıkların sınıflandırılmasının detaylandırılmasına, ormansal kaynaklı atık miktarının arttırılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Fiziksel prosesler, termokimyasal prosesler, kimyasal prosesler ve biyolojik prosesler ile orman biyokütlesi elektrik, konut ısınması ve yakıt ihtiyacının karşılanması noktasında önemli rol oynamaktadır. Bazı biyokütle kaynakları ve kömürün ısı

değerleri, odunun ısı değeri materyalin kaynağına göre 10 MJ/kg ile 20 MJ/kg, bağ bozumu ile ortaya çıkan kalıntılarda 14 MJ/kg ile 18 MJ/kg, pirinç kabuğunda 12 MJ/kg ile 14 MJ/kg değerleri arasındadır. Talaşın ısı değeri 12 MJ/kg, ahşap peletlerin 20 MJ/kg, yosunun ise 33 MJ/kg değerine sahiptir. Odun peletinin enerji yoğunluğu kömüre göre daha az olmasına karşın bir aile için yıllık maliyeti daha düşük olup atmosfere bırakılan zararlı gaz miktarı daha az durumdadır. Bu yüzden Türkiye'de odun peleti üretimi oldukça az miktardadır. Türkiye'de odun peleti üretiminin arttırılmasına, ormanda kalan biyokütle enerji materyallerinin üretim sahasından çıkarılıp pelet halinde üretilip ısınma ihtiyacının karşılanmasında önemli rol oynaması oldukça önemlidir. Bununla birlikte karasal ve deniz kaynaklı yosundan enerji üretimi çok daha yeni kavram durumundadır. Türkiye bu konuda gereken ar-ge çalışmalarına ayrıca hız vermesi yararlı olacaktır.

Türkiye'de 2012 yılında orman köyü sayısı 14.212 adettir. 2012 yılında orman köyünde yaşayan insan sayısı ise 4.931.551 tanedir. 2020 yılında ise toplam orman köyü sayısı 23.100 adet olup orman köylerinde yaşayan insan sayısı ise 7.034.738 tanedir. Türkiye'de orman köylerinde yaşamsal ihtiyaçların ormanlardan karşılanması sebebi ile ormanda bulunan biyokütle enerji materyalinin etkin, verimli ve yaygın olarak kullanamamasına neden olmaktadır. Bu kapsamda Türkiye orman varlığının korunması amacıyla orman köylüsüne su ısıtabilmesi için güneş enerjisini etkin ve verimli kullanımını sağlayacak güneş enerjisi kaynaklı ısıtma sistemleri, kat kalorifer sistemi, konut içerisinde enerjinin tasarruflu ve verimli kullanılabilmesini sağlayacak dış cephe mantolama başta olmak üzere birçok konuda faizsiz destek hizmeti sunmaktadır. Bunun karşılığında ise Türkiye'deki ormanlardaki sosyal baskı bir nebze de olsa azalmış durumdadır. Bununla birlikte Türkiye'de işlenen orman suçu sayısı istenilen düzeyde azalma göstermemiştir. Türkiye'de sadece kaçak ağaç kesim suçundan 2020 yılında 20.305m^3 miktarda odun ormandan kanunsuz bir şekilde elde edilmiş olup ağaç endüstrisi ve enerji hammaddesi olarak değerlendirilememiştir. Bu kapsamda Türkiye'de bütün orman suçlarına karşı denetimler, kontroller arttırılmalı, ormanlara giriş ve çıkışların denetlenmesi gerekmektedir. Ayrıca Türkiye'de güneş enerjisinden sadece ısıtma değil elektrik üretimi için güneş enerjisi kullanılarak geniş kapsamlı projelerin uygulanmaya ihtiyacı vardır.

KAYNAKÇA

Abbasi, S., & Abbasi, N. (2000). The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. *Applied energy,* 121-144.

Akavo, İ. (2008). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları.* Ankara: Nobel Yayınları.

Aktaş, T., Özer, B., Soyak, G., & Ertürk, M. (2015). Tekirdağ İli'nde Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogazdan Elektrik Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 69-74.

Argun, Y., Doğru, S., Altıkat, A., & Bingül, Z. (2016). Renewable Energy Sources Of Tra2 Regıon (Igdır, Kars, Ardahan And Agrı) For Sustaınable Development. . Gaziantep: UEMK.

Bakkaloglu, S., Lowry, D., Fisher, R., & France, J. (2021). (2021). Quantification of methane emissions from UK biogas plants. *Waste Management,*, 82-93.

Balat, M. (2005). Use of Biomass Sources for Energy ın Turkey and a View to Biomass Potential, Biomass and Bioenergy. 32-41.

Başçetinçelik, A., Karaca, C., & Öztürk, H. (2004). Bazı Avrupa Birliği Ülkelerinde Biyokütle Politikaları. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 60-72.

Berg, T., Apostolou, D., & Enevoldsen, P. (2021). Analysis Of The Wind Energy Market İn Denmark And Future İnteractions With An Emerging Hydrogen Market . *International Journal Of Hydrogen Energy,* 146-156.

Bhatia, S., Palai, K., Kumar, A., Bhatia, R., & Patel, A. (2021). Trends İn Renewable Energy Production Employing Biomass-Based Biochar. *Bioresource Technology,* 125-150.

Cocchi, M., & Nikolaisen, L. (2013). Wood pellet market and trade: a global perspective. *Helmholtz Çevre Araştırmaları Dergisi*.

Cossutta, M., Foo, D., & Tan, R. (2021). Birleşik Krallık Enerji Sektörünün Karbondan Arındırılmasını Planlamak İçin Karbon Emisyonu Sıkıştırma Analizi (CEPA). *Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Dergisi*, 259-270.

ÇEM. (2014). Ormancılıkla İlgili (Doğrudan/Dolaylı) Uluslar arası Sözleşmeler. Ankara.

ÇEM. (2015). Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi 12. Taraflar Konferansı (COP12) Kararları. Ankara.

Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı. (2020). *6. Çevre Durum Raporu* .

Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı. (tarih yok). *Paris İklim Değişikliği Antlaşması.* https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587 adresinden alındı

Dale, S. (2019). *BP statistical review of world energy.* London.

Demir, M. (2017). Kars İlinin Biyokütle Enerji Potansiyeli Ve Kullanılabilirliği . *Türk Coğrafya Dergisi*, 31-41.

Demirbaş, A. (2008). Importance of biomass energy sources for Turkey. *Energy Policy*, 834-842.

Dorukhan, A., & Yılmaz, M. (2021). Yenilenebilir Enerjinin Önemi Ve Latin Amerika Coğrafyasındaki Yeri. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergsi*, 339-358.

EİGM Raporları. (tarih yok). *2020 Yılı Ulusal Enerji Denge Tablosu.* https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablolari adresinden alındı

Elibol, E., Açıkel, .. A., & Şenol, M. (2017). Şenol, H. , . (2017). Türkiye'de Biyogaz Üretimi İçin Başlıca Biyokütle Kaynakları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 23-32.

Enerji Atlası. (2019). *Türkiye'nin En Büyük Biyokütle, Biyogaz, Enerji Atlası*. https://www.enerjiatlasi.com/biyogaz/ adresinden alındı

Enerji İleri Genel Müdürlüğü. (2021). *Enerji Yatırımları Raporları.*

Enerji İsleri Genel Mudurlugu Denge Tabloları. (2020). *2020 Yılı Ulusal Enerji Denge Tablosu* .

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2020). *Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası*. https://bepa.enerji.gov.tr/ adresinden alındı

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2022). *Biyokütle Enerji Kaynakları*. https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle adresinden alındı

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2019, 05 12). *Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik.* https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm adresinden alındı

Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2020, 10 10). *Biyokütle.* https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle adresinden alındı

Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2020). *Denge Tabloları*. https://enerji.gov.tr/eigm-denge-tablolari adresinden alındı

EPDK. (2020). *Elektrik Piyasası Yıllık Rapor-Elektrik Piyasası Gelişim Raporları Listesi*. http://epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-102/yillik-rapor-elektrik-piyasasi-gelisim-raporlari adresinden alındı

Erdil, C., & Özkaya, G. (2019). Turkey’s 2023 Energy Strategies and Investment Opportunities for Renewable Energy Sources: Site Selection Based on Electra. 21-36.

Erdoğan, İ. (1994). *GAP Bölgesi’nde Bitki Örtüsü ve Ormanlar, GAP Bölgesi’nde Bitki Örtüsü ve Ormanlar.* Ankara: Türkiye Çevre Vakfı.

Fidan, M. (2014). Bitkisel Hammaddelerden Elde Edilen Biyodizelin Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması. *GÜFBED,* 144-160.

Gonçalves, A., Malico, I., & Sousa, A. (2020). Energy Production from Forest Biomass: An Overview. In A. C. Gonçalves, A. Sousa, & I. Malico (Eds.), Forest Biomass - From Trees to Energy. *IntechOpen*, 77-86.

Güler, N. Ü., & Yumurtacı, N. (2021). Yekdem Politikası ve Yenilenebilir Enerji Gelişimi. *İzmir Rüzgar Sempozyumu.* İzmir.

Güllü, M., & Kartal, Z. (2021). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının İstihdam Etkisi. *Sakarya İktisat Dergisi*, 36-65.

Günay, S. (2008). Türkiye'de Enerji Tarımı Amacıyla, Kanola ve Soya Fasulyesinin Yetiştirilmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 63-18.

Herbert, G., & Krishnan, A. (2016). Quantifying Environmental Performance Of Biomass Energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 292-308.

Hidayet, O., & Öğüt, H. (2005). Çiftçi Şartlarına Uygun Biyodizel Üretim Tesislerinin Tasarımı ve İmalatı. *Tarım Makinaların Bilimi Dergisi*, 21-27.

IEA. (2021). *Global Energy Review 2021*.

İlleez, B. (2020). Türkiye'de Biyokütle Enerjisi .

International Energy Agency. (2021). World Energy Statistics.

Işık, S., & Yavuz, S. (2022). Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi,* 193-201.

Kandemir, A., & Sarptaş, H. (2022). Toprak Üstü Biyokütle Potansiyelinin CBS ve Uzaktan Algılama ile Belirlenmesi – Yeni Bir Yaklaşım. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*.

Kaputhan, E. (2014). ENERJİ COĞRAFYASI AÇISINDAN BİR İNCELEME: BİYOKÜTLE ENERJİSİNİN DÜNYADAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ KULLANIM DURUMU. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 97-125.

Karaca, C. (2009). Çukurova Bölgesindeki Tarıma Dayalı Sanayi Atıklarının Enerjiye Dönüşüm Olanaklarının İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri Anabilim Dalı Doktora Tezi*.

Karataş, H. (2019). Karabaş H. Sakarya İlinin Bitkisel Biyokütle Açısından Atık Miktarının ve Enerji Potansiyelinin Araştırılması. . *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 35-43.

Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çubuk, Y., & Kurt, R. (2011). Biyokütlenin Türkiye'de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 63-75.

Kaya, K. (2015). Enerj Üretim Santralleri Maliyet Analizi. *Tarım Ve Makina Dergisi*, 61-68.

Kaygusuz, K. (2002). Sustainable Development Of Hydropower And Biomass Energy İn Turkey. *Energy Conversion and Management*, 1099-1120.

Korkmaz, H., Ünsal, Ö., Görgün, H., & Avcı, E. (2020). Kereste Kurutmada Enerji Verimliliği - Güneş Enerjisi İle Kızılçam (Pinus brutia) Kerestesi Kurutma Örneği. *Politeknik Dergisi*, 671-676.

Kovalyshyn, S., & Kaygusuz, O. (2019). Global energy demand and woody biomass. *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 1119-1126.

Makina Mühendisleri Odası. (1999). *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Ve Sergisi*. İzmir.

Melikoglu, M. (2017). Vision 2023: Status Quo And Future Of Biomass And Coal For Sustainable Energy Generation İn Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 800-808.

Mevzuat Bilgi Sistemi. (2005). https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5346&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5 adresinden alındı

Moreno, M., Samerón-Manzano, E., Perea, A., & Moreno, J. (2019). Biomass As Renewable Energy: Worldwide Research Trends. *Sustainability*, 11(3), 863.

Nalan, Ç., Murat, Ö., & Nuri, Ö. (2009). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Piyasası Koşulları Ve Engeller. *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 1428-1436.

Nulocnes, U., Matias, J., & Catalão, J. (2014). Termal enerji üretimi için karışık biyokütle peletleri: Yanma modellerinin gözden geçirilmesi. *Uygulamalı Enerji*, 135-140.

OGM. (2019). *TÜRKİYE SOY K&G RAPORU* . Tarım Ve Orman Bakanlığı.

OGM. (2020). *Ormancılık istatistikleri* . Orman Genel Müdürlüğü.

Öymen, G. (2020). Yenilenebilir Enerjinin Sürdürebilirlik Üzerindeki Rolü . . *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 1069-1087 .

Öznazik, H. (2022). Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dayalı Elektrik Üretimine Verilen Fiyat Desteklerinin İncelenmesi: Karşılaştırmalı Bir Analiz. *Fiscaoeconomia* , 161-188.

Pimentel, D. (2001). Biomass Utilization, Limits Of. *Encyclopedia Of Physical Science And Technology*, 159-171.

Proskurina, S., Junginger, M., Heinimö, J., Tekinel, B., & Vakkilainen, E. (2019). Global biomass trade for energy—Part 2: Production and trade streams of wood pellets, liquid biofuels, charcoal, industrial roundwood and emerging energy biomass. Biofuels,. *Biofuels, bioproducts and biorefining*, 371-387.

PWC. (2021, 03 21). *Biyokütle ve Biyoenerji Sektörlerine Genel Bakış*. https://www.pwc.com.tr/tr/sektorler/enerji/biyokutle-ve-biyoenerji-sektorlerine-genel-bakis-web.pdf adresinden alındı

Rahman, S., Mahmut, N., & Hussein, M. (2013). Overview Of Biomass Energy. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 30-44.

REN21. (2021). *Renewables 2021: Global Status Report.*

Resmi Gazete. (2019, 05 20). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği.

Rosillo, A., & Calle, F. (2016). A Review Of Biomass Energy. *Shortcomings And Concerns. Journal Of Chemical Technology & Biotechnology*, 1933-1945.

Shah, M., Kirikkaleli, D., & Adedoyin, F. (2021). Regime Switching Effect Of COVID-19 Pandemic On Renewable Electricity Generation İn Denmark. *Renewable Energy*, 797-806.

Sikkema, R., Proskurina, S., Banja, M., & Vakkilainen, E. (2021). How Can Solid Biomass Contribute To The EU's Renewable Energy Targets İn 2020, 2030 And What Are The GHG Drivers And Safeguards İn Energy- And Forestry Sectors?, Renewable Energy .

Sririram, N., & Shahidehpour, M. (2005). *Renewable Biomass Energy. In IEEE Power Engineering Society General Meeting.* New York: IEEE.

T.C Resmî Gazete. (2021, 01 30). *YEK Destekleme Mekanizması Fiyatlarının Güncellenmesinde Dikkate Alınacak Üst Sınır.* https://www.resmigazete.gov.tr/fihrist?tarih=2021-01-30 adresinden alındı

T.C Kalkınma Bakanlığı. (2018). On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023).

T.C.Enerjı Ve Tabıı Kaynaklar Bakanlığı. (2018). *2019-2023 Stratejık Planı.*

Taner, T., & Ustun, A. T. (2021). Renewable Energy - Technologies and Applications. *IntechOpen*.

Taraklı, D. (1990). Ormanlarımız ve Yerleşimleri.

Tarım ve Orman Bakanlığı. (2014). Enerji Tarımı Ve Biyoyakıtlar 4.Ulusal Çalıştayı.

Tarım Ve Orman Bakanlığı. (2018). *IV. Uluslararası Katılımlı Anadolu Enerji Sempozyumu.* Edirne: Trakya Üniversitesi.

Tarım Ve Orman Bakanlığı. (2021, 03 04). *Üretim Artıkları Enerjiye Dönüşüyor*. https://www.ogm.gov.tr/tr/haberler/uretim-artiklari-enerjiye-donusuyor adresinden alındı

TEİAŞ. (2021). *2021-2025 Üretim Projeksiyonu.*

Temerit, A. (1988). Avrupa'da ve Türkiye'de Enerji Ormanları ve Önemi. *Orman Mühendisliği Dergisi*.

Tırınk, S. (2022). Hayvansal Atıkların Biyogaz Üretim Potansiyelinin Hesaplanması: Iğdır İli Örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology* , 3-77.

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası. (2011). *Türkıye'de "Enerjı Ormancılığının" Geregı, Kısıtları Ve Olanakları.*

Toklu, E. (2017). Biobass Energy Potential And Utilzation İn Turkey. *Renewable Energy,* 235-244.

Toksoy, D., Çolak, S., & Bayramoğlu, M. (2020). A Study On The Biomass Energy Potential Of Turkey: Example Of Wood Pellets. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*.

Tolay, M., Yardımcı, S., & Hüseyin, K. (2008). Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi.

Türe, S. (2001). Biyokütle Enerjisi. *Temiz Enerji Vakfı*, 1-5.

Türker, F. (1992). *Maçka Devlet Orman İşletmesi Müdürlüğü Ormanlarından Odun Hammaddesinin Yakacak Odun Amacıyla Tüketilmesinin Sosyo-Ekonomik Analizi.* Trabzon.

Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2019). *Biomass Cycle Technologies*.

Türkiye Cumhuriyeti Orman Genel Müdürlüğü, Türkiye Cumhuriyeti Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2019). Türkiye Ormanları. *Orman Genel Müdürlüğ E-Kütüphane Yayınları*.

Uğurlu, Ö. (2006). Türkiye'de Çevresel Güvenlik Bağlamında Sürdürülebilir Enerji Politikaları. *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı Doktora Tezi*.

UK Forestry Commission. (2021, 06 23). *The UK Forestry Standard, 2021*. https://www.gov.uk/government/publications/the-uk-forestry-standard adresinden alındı

Ulu, F. (2011). *Soma Deniş Kömürü Ve Ay Çekirdeği Kabuğu Yarı Kokunun Birlikte Biriketlenmesi.* İstanbul Teknik Üniversitesi.

Üçgül, İ., & Akgül, G. (2010). . Biyokütle Teknolojisi. *Yekarum*. https://dergipark.org.tr/tr/pub/yekarum/issue/21886/235292 adresinden alındı

Vassilev, S., & Vassileva, C. (2015). Advantages And Disadvantages Of Composition And Properties Of Biomass İn Comparison With Coal: An Overview. *Fuel*, 330-350.

Yalçıner, A. Y. (2021). Yenilenebilir Enerji Üretimi Ve Destekleri Üzerine Bir Tahmin Modeli Önerisi. *Journal Of Life Economics*, 263-272.

Yıldırım. (2018). Yenilenebilir Enerjiye Dayalı Elektrik Üretim Santrallerinin Maliyeti. *Electronic Letters On Science And Engineering*, 10-19.

Yıldırım, A., & Koçer, N. (2022). Diyarbakır İli Biyokütle Potansiyeli Ve Enerji Üretimİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27-40.

Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından nemi. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi* , 33-54.

Yılmazer, S. (2012, 11 29). *Batı Anadolu'nun Olası Jeotermal Potansiyelinin Belirlenmesi*. http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_11/36.pdf adresinden alındı

Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı. (2021). *Kurulu Güç Raporu.* Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.

Zeynep Güneş, H. E. (2020). Şeker Pancarı Ve Yan Ürünlerinden Biyoyakıt (Etanol) Üretimi Ve Biyoetanolün Endüstriyel Değerlendirimesi. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16-24.