

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNDE YILLIK ENERJİ ÜRETİMİNİN
EMİSYON SALINIMI FARKLILIKLARI AÇISINDAN BİYOENERJİ İLE
KARŞILAŞTIRILMASI VE KÜRESEL ISINMAYA OLAN ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS

Aykut KIZKIN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

OCAK 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNDE YILLIK ENERJİ ÜRETİMİNİN
EMİSYON SALINIMI FARKLILIKLARI AÇISINDAN BİYOENERJİ İLE
KARŞILAŞTIRILMASI VE KÜRESEL ISINMAYA OLAN ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS

Aykut KIZKIN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cenk YAVUZ

OCAK 2023

Aykut KIZKIN tarafından hazırlanan ‘‘Hidroelektrik Santrallerinde Yıllık Enerji Üretiminin Emisyon Salınımı Farklılıkları Açısından Biyoenerji ile Karşılaştırılması ve Küresel Isınmaya Olan Etkileri’’ adlı tez çalışması 26.01.2023 tarihinde aşığıdaki jüri tarafından oy birliğı/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliğı Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliğı Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Cenk YAVUZ**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr.Ögr.Üyesi Ceyda AKSOY TIRMIKÇI**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç.Dr. Rifkı TERZİOĞLU**
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Hidroelektrik Santrallerinde Yıllık Enerji Üretiminin Emisyon Salınımı Farklılıkları Açısından Biyoenerji İle Karşılaştırılması Ve Küresel Isınmaya Olan Etkileri” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(26/01/2023).

(imza)

Aykut KIZKIN

Babam, annem ve eşime

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı zamanda beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Cenk YAVUZ'a, tez içerisinde kullanılan veriler için desteklerini esirgemeyen tüm Hidroelektrik ve Biyoenerji Santral Şeflerine, bugünlere gelmemde en büyük destekçim aileme, çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen eşim Zeynep'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aykut KIZKIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|--------------|
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ | v |
| TEŞEKKÜR | ix |
| İÇİNDEKİLER | xi |
| KISALTMALAR | xiii |
| SİMGELER | xv |
| TABLO LİSTESİ | xvii |
| ŞEKİL LİSTESİ | xix |
| ÖZET | xxi |
| SUMMARY | xxiii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1. Sera Gazı Emisyonu ve Küresel Isınma | 1 |
| 1.2. Elektrik Enerjisi-Sera Gazı Emisyonu İlişkisi | 2 |
| 1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kurulu Güçlerinin Türkiye’de Tarihsel Gelişimi | 4 |
| 1.4. Türkiye'nin Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Enerjinin Rolü..... | 5 |
| 2. LİTERATÜR TARAMASI | 11 |
| 2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Hidroelektrik Enerji | 11 |
| 2.2. Türkiye’de Hidroelektrik Kaynak Kullanımının Önemi | 13 |
| 2.3. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması | 14 |
| 2.3.1. Kurulu güçlerine göre sınıflandırma | 14 |
| 2.3.2. Düşüye göre sınıflandırma | 15 |
| 2.3.3. Depolama durumlarına göre sınıflandırma..... | 15 |
| 2.4. Türkiyenin Yenilenebilir Enerji Politikası | 16 |
| 2.5. Türkiye’nin Hidroelektrik Potansiyeli | 17 |
| 2.6. Biyoenerji Nedir? | 23 |
| 2.7. Biyoenerji Çeşitleri ve Kullanım Alanları | 23 |
| 2.8. Biyoenerji Kaynakları Yenilenebilir Midir? | 24 |
| 2.9. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Biyoenerjinin Yeri..... | 26 |
| 2.10. Dünya Üzerinde Biyoenerji Kullanımı | 28 |
| 2.11. Biyoenerjinin Ekonomik Katkısı..... | 33 |
| 2.12. Biyokütle Enerjisinin Elektrik Enerjisi Üretimindeki Yeri..... | 34 |
| 2.13. Biyogaz Prosesi ile CO ₂ Azaltımı | 42 |
| 2.14. Türkiye'deki Biyogaz Tesislerinin Bölgelere Göre Maliyet Hesaplaması | 44 |
| 2.15. Biyogaz Prosesi ile Üretim Yapmanın Sonuçları..... | 45 |
| 2.16. Odun Peleti | 46 |
| 2.17. Kaynak Araştırmasının Değerlendirilmesi | 47 |
| 3. YÖNTEM | 53 |
| 3.1. Çalışmada Kullanılan Santral Bilgi ve Kurulu Güçleri..... | 54 |
| 3.2. Verilerin Değerlendirilmesi..... | 58 |
| 4. ÇALIŞMA SONUÇLARI | 61 |
| 4.1. İstatiksel Analiz..... | 61 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 69 |
| KAYNAKÇA | 73 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 81 |

KISALTMALAR

| | |
|----------------|--|
| IEA | : Uluslararası Enerji Ajansı |
| HES | : Hidroelektrik Santral |
| BES | : Biyoenerji Santrali |
| SPSS | : Statistical Package for the Social Sciences |
| UNFCCC | : Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi |
| GHGe | : Sera Gazı Emisyonları |
| GHG | : Sera Gazı |
| IEA | : Uluslararası Enerji Ajansı |
| YEK | : Yenilenebilir Enerji Kaynağı |
| FFPP | : Fosil Yakıtlı Santraller |
| RES | : Rüzgâr Enerjisi Santralleri |
| GES | : Güneş Enerjisi Santralleri |
| USD | : Amerikan Doları |
| TEİAŞ | : Türkiye Elektrik İletim A.Ş. |
| TEP | : Ton Eşdeğer Petrol |
| BTEP | : Bin Ton Petrol Eşdeğeri |
| MTEP | : Milyon Ton Eşdeğer Petrol |
| MTOE | : Milyon Ton Petrol Eşdeğeri |
| YEKDEM | : Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması |
| IPCC | : Intergovernmental Panel on Climate Change |
| LPG | : Sıvılaştırılmış Petrol Gazları |
| HPtoLA | : Hidroelektrik Üretiminin Arazi Alanı Katsayısı |
| INDC | : Kesin Katkılar için Ulusal Niyet Beyanları |
| DL | : Derin Öğrenme |
| SVM | : Destek Vektör Makinesi |
| YSA | : Yapay Sinir Ağları |
| MCDM | : Çok Kriterli Karar Metodolojisi |
| AHP | : Analitik Hiyerarşi Süreci |
| FWASPAS | : Bulanık Ağırlıklı Toplu Toplam Ürün Değerlendirmesi |

SİMGELER

| | |
|------------------------------|---|
| CO₂ | : Karbondioksit |
| GWh | : Gigawatt saat |
| kWh | : Kilowatt saat |
| gCO₂eq/kWh | : Kilowatt-saat elektrik başına gram karbondioksit eşdeğeri |
| SO₂ | : Kükürt dioksit |
| NO_x | : Azot Oksitler |
| NMVOX | : Metan olmayan uçucu organik bileşikler |
| N₂O | : Azot Protoksit |
| CH₄ | : Metan |
| TWh | : Terawatt saat |
| km² | : Kilometrekare |
| m³ | : Metreküp |
| mm | : Milimetre |
| tCO₂/yıl | : Yıl başına düşen ton karbondioksit |
| MW | : Megawatt |
| kgCO₂ | : Kilogram karbondioksit |
| € | : Euro |
| MT | : Milyon ton |
| GJ | : Gigajul |
| MJ | : Megajul |
| EJ | : Exajoule |

TABLO LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Tablo 1.1. Yenilenebilir Kaynaklı Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payının Yıllar İtibariyle Gelişimi..... | 6 |
| Tablo 1.2. Yenilenebilir Kaynaklarından 2021 Yılı Elektrik Üretim Miktarları (GWh) | 7 |
| Tablo 1.3. 2021 Yılı Elektrik Üretim Miktarlarının Tüm Elektrik Üretimine Oranı (GWh) | 7 |
| Tablo 2.1. Türkiye Yenilenebilir Enerji İçin Tarife Garantisi..... | 17 |
| Tablo 2.2. Türkiye'nin Başlıca Su Havzalarının Yıllık Ortalama Yağış Miktarı, Brüt Su Potansiyeli ve Hidroelektrik Potansiyeli..... | 18 |
| Tablo 2.3. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyelinin Bazı Ülkeler ile Karşılaştırılması | 19 |
| Tablo 2.4. Türkiye'nin Kurulu Hidroelektrik Gücünün Tarihsel Gelişimi | 20 |
| Tablo 2.5. Türkiye'nin Enerji Sektöründe 2023 Hedefleri..... | 20 |
| Tablo 2.6. Tarım Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Salınım Miktarı ve Dağılımları | 24 |
| Tablo 2.7. Kaynak Türleri İtibariyle Dünya Birincil Enerji Arzı (MTEP) | 31 |
| Tablo 2.8. Dünya Birincil Enerji Kaynakları Kullanımında Paylar | 32 |
| Tablo 2.9. Kaynak Türleri İtibariyle Türkiye Birincil Enerji Arzı (MTEP) | 32 |
| Tablo 2.10. Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Kullanımında Paylar | 33 |
| Tablo 2.11. Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Kullanımında Paylar | 34 |
| Tablo 2.12. Kaynaklara Göre Küresel Elektrik Üretimi | 34 |
| Tablo 2.13. Dünyada Enerji Türlerine Göre Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimi | 35 |
| Tablo 2.14. Dünya Elektrik Üretiminde Yenilenebilir ve Biyokütle Enerjileri Payı | 35 |
| Tablo 2.15. Türkiyede Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi..... | 36 |
| Tablo 2.16. Türkiyede Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi Oranları | 36 |
| Tablo 2.17. Biyokütle Kaynaklarına Göre Almanya-Türkiye Elektrik Üretimi Karşılaştırması..... | 37 |
| Tablo 2.18. Türkiye'nin enerji tüketimi (Mtoe) | 38 |
| Tablo 2.19. Türkiye'nin enerji üretimi (Mtoe)..... | 38 |
| Tablo 2.20. Bölgelere Göre Toplam CO ₂ Azalımı | 44 |
| Tablo 2.21. Seçilen Şehirlere Göre Biyogaz Santralin maliyet analizi | 45 |
| Tablo 2.22. Fosil Yakıtlar ve Odun Peletinin Karşılaştırılması | 47 |
| Tablo 3.1. Seçilen Hidroelektrik Santraller ve Kurulu Güçleri..... | 54 |
| Tablo 3.2. Seçilen HES'lerin İllere Göre Dağılımı..... | 54 |
| Tablo 3.3. Biyoenerji Santral İsimleri ve Kurulu Güçleri | 56 |
| Tablo 3.4. Biyoenerji Santralleri ve Bölgeleri..... | 56 |
| Tablo 3.5. Çalışmada Kullanılan Santral Adetleri ve Kurulu Güçleri | 57 |
| Tablo 4.1. Hidroelektrik Santrallerin Korelasyonu | 61 |
| Tablo 4.2. Biyoenerji Santrallerine Ait Verilerin Korelasyonu | 63 |

| | |
|---|----|
| Tablo 4.3. Kurulu Güçlerine Göre HES ve BES Verilerinin Grup İçi Karşılaştırması | 65 |
| Tablo 4.4. Kurulu Güçlerine Göre HES ve BES Verilerinin Gruplar Arası Karşılaştırması..... | 66 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Dünyada Elektrik Üretimindeki Değişim (2015-2024) | 3 |
| Şekil 1.2. 2021 Türkiye'nin Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretimini Dağılımı | 7 |
| Şekil 2.1. 2015-2024 Yıllara Arasında Enerji Üretimi ve Emisyon Miktarının Değişimi | 13 |
| Şekil 2.2. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması | 14 |
| Şekil 2.3. 1990-2020 Arası Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Elektrik Üretimi (GWh) | 21 |
| Şekil 2.4. Hidroelektrik ve Rüzgâr Enerjisinin 2015-2020 Ve 2020-2021 Yılları Arası Gelişimi | 22 |
| Şekil 2.5. Hidroelektrik Enerji İçin 2030 Yılında Beklenen Kurulu Güç..... | 23 |
| Şekil 2.6. 2010 ve 2035 senaryosuna göre enerji sektöründe Biyoenerjinin payı | 30 |
| Şekil 2.7. Birincil Biyoenerji Karışımındaki Biyokütle Kaynaklarının Payı | 41 |
| Şekil 3.1. Seçilen HES'lerin İllere Göre Dağılımı | 55 |
| Şekil 3.2. Seçilen HES'lerin İllere Göre Kurulu Güçlerinin Karşılatırılması | 55 |
| Şekil 3.3. Seçilen Biyoenerji Santrallerin Bölgelere Göre Dağılımı | 57 |
| Şekil 3.4. Seçilen Biyoenerji Santrallerinin Kurulu Güçlerinin Oranlanması | 57 |
| Şekil 3.5. Çalışmada Kullanılan Santral Kurulu Güç Oranları | 58 |
| Şekil 3.6. Çalışmada Kullanılan Santral Adetlerinin Oranı | 58 |

HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNDE YILLIK ENERJİ ÜRETİMİNİN EMİSYON SALINIMI FARKLILIKLARI AÇISINDAN BİYOENERJİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI VE KÜRESEL ISINMAYA OLAN ETKİLERİ

ÖZET

Dünyada enerji ihtiyacı ve tüketimi her geçen gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye' nin toplam elektrik talebi, ekonomik ve endüstriyel gelişimle birlikte hızla artmaktadır. 1980-2020 yılları arasında elektrik üretiminin toplam kurulu gücü 5118,7 MW' tan 95890.6 MW' a yükselmiştir. Aynı dönemde brüt talep 24616.6 GWh'den 306703,1 GWh'ye yükselmiştir. Türkiye'de kurulu güç 4.11.2022 tarihi itibarıyla 103235,25 MW olarak bildirilmiştir. Bu rakam 2021 yılında ise 99819.6 MW idi. Kurulu gücün %3,42 oranında arttığı görülmüştür. 2005-2020 yılları arasında toplam kurulu güç içindeki yenilenebilir payı %33,4'ten %51,3'e, buna paralel olarak toplam üretim içindeki payı da %24,6'dan %42,3'e yükselmiştir. Toplam kurulu güç ve toplam üretimde sırasıyla %146,9 ve %89,2 artış olmasına rağmen, bu artışlar yenilenebilirde %279,8 ve %225,4 olmuştur. Böylece hem kurulu güçte hem de toplam üretimde yenilenebilir paylarında artışlar sağlanmıştır. Hidroelektrik santrallerdeki üretim, kaynak faktörü sebebiyle değişkenlik göstermesi nedeniyle toplam yenilenebilir üretim ve payında da dalgalanmalar görülmektedir.

Kurulu güç artmasına rağmen enerji talebi de arttığından Türkiye'de sadece yenilenebilir enerji kaynağı ile üretimin yetersiz kalması sebebiyle fosil yakıt kullanımları da aktif devam etmektedir. Ayrıca fosil yakıtlarda dışa bağımlığın ülkeye maliyetinin yüksek olduğu bilinmektedir. Sera gazı etkisi fosil yakıtların bilinçsiz kullanımıyla artmaktadır. Sera gazı emisyonu sonuçlarından biri olan küresel iklim değişikliğinin insanlık üzerindeki etkileri farklı yaklaşımlarla öne çıkmaktadır. İklim değişikliğinin, olağanüstü meteorolojik olayların sıklığını artırdığı ve ülkelerin sosyo-ekonomik sorunlar yaşamasına neden olduğu görülmektedir. İklim değişikliğinin önüne geçmek ve atmosfere salınan karbonu kontrol altında tutmak için uluslararası camiada önce Kyoto Protokolü, ardından Paris İklim Anlaşması imzalanmıştır. Dışa bağımlılık ve küresel ısınmanın olumsuz sonuçları devam ettiği sürece yenilenebilir enerji kaynağı arayışı kaçınılmaz olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgâr, hidrolik, jeotermal, biyokütle, dalga, güneş vb.); ülkelerin enerji politikalarında yerli kaynak olması, enerji arz güvenliğine katkı sağlaması, temiz olması, küresel ısınma ile mücadelede emisyonların azaltılmasına katkı sağlaması gibi ekonomik değer taşıyan özellikleri nedeniyle büyük önem taşımaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından kabul edilen biyoenerji ve hidroelektrik enerji üzerine çalışılmış ve değerlendirmelerde bulunulmuştur. Öncelikli olarak literatürdeki benzer çalışmalar detaylı incelenmiştir. Çalışmada Türkiye'de coğrafi özellikleri sebebiyle hidroelektrik santral kurulumuna oldukça müsait olan Doğu Karadeniz Bölgesi seçilmiştir. Biyoenerji santralleri için ise Türkiye'nin çeşitli yerlerinde üretim yapan santrallerden örneklem seçilmiştir. İki yenilenebilir enerji kaynağının karşılaştırılmasında, literatür çalışmalarında tespiti yapılan amorti

durumları, kurulum maliyetleri, bakım maliyetleri, üretim kazançları, devlet teşvikleri, ham madde tedarik süreçleri, iletim hattı kayıpları, karbon salınımı gibi pek çok parametre sahadan yetkililer tarafından elde edilen veriler ışığında değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır. Literatürde hidroelektrik enerji ve biyoenerjinin kendi içinde santraller bazında karşılaştırılması yapılmışken, çalışmada iki enerji türü ortak olarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sırasında 19 adet hidroelektrik santral, 14 adet de biyoenerji santralının verileri kullanılarak kapsamlı bir çalışma yapılmıştır.

Çalışma saha çalışanlarından alınan bilgiler ışığında yapıldığından pratik bilgi açısından da özgünlük taşımaktadır. Sahadan elde edilen verilerin istatistiksel çalışması Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) programı aracılığıyla yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda hidroelektrik santral ve biyoenerji santrallerinin avantaj ve dezavantajları ortaya koyulmuştur. Türkiye'nin topografik yapısı sebebiyle hidroelektrik santrallerin sayısının ve kurulu gücünün biyoenerji santrallere göre çok yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca hidroelektrik santrallerin kurulum maliyetleri, emisyon miktarı, bakım maliyetleri ve iletim hattı kayıplarının biyoenerjiye göre daha avantajlı olduğu, biyoenerji santrallerinin amorti süresi ise hidroelektrik santrallere göre avantajlıdır. Yağış rejiminin uygun olduğu ortamlarda hidroelektrik santral kurulumunun biyoenerji santrallerine göre uygun ve sürekliliği olduğu düşünülebilir. Yağış rejiminin düzenli olmadığı coğrafi bölgelerde ise tedarigi uygun olan ham maddeye göre biyoenerji santrali kurulumunun avantajlı olacağı düşünülebilir. İki yenilenebilir enerji kaynağının fosil yakıtlara göre emisyon oranı çok düşük olduğundan küresel ısınmanın olumsuz etkilerini azaltacağı düşünülebilir. Fosil yakıtlarda dışa bağımlılık ve sera gazı emisyonuna da sebep olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının yatırımlarına artan bir şekilde devam edilmesi gerektiği, ayrıca devlet teşviklerinin de bu yatırımları desteklemesi ve sürekliliğini sağlaması beklenmektedir.

COMPARISON OF ANNUAL ENERGY PRODUCTION IN HYDROELECTRIC PLANTS WITH BIOENERGY IN TERMS OF EMISSION DIFFERENCES AND ITS EFFECTS ON GLOBAL WARMING

SUMMARY

The world's energy consumption and demand are increasing on a daily basis. Turkey's total electricity demand is increasing rapidly in parallel with its industrial and economic development. Between 1980 and 2020, the total installed power of electricity generation increased from 5118.7 MW to 95890.6 MW. In the same period, the gross demand increased from 24616.6 GWh to 306703,1 GWh. The installed power in Turkey has been reported as 103235.25 MW as of 4.11.2022. This figure was 99819.6 MW in 2021. It was observed that the installed capacity increased by 3.42%. Renewable energy's percentage of total installed power climbed from 33.4% to 51.3% between 2005 and 2020, and at the same time, its part of total generation increased from 24.6% to 42.3%. Although there was an increase of 146.9% and 89.2% in total installed power and total generation, respectively, these increases were 279.8% and 225.4% in renewables. Thus, increases were achieved in the share of renewables in both installed power and total generation. Since the generation in hydroelectric power plants varies due to the resource factor, fluctuations are also observed in the total renewable generation and its share.

Despite the increase in installed power, the use of fossil fuels continues actively due to the insufficient production with only renewable energy source in Turkey, as the energy demand also increases. Furthermore, it is well understood that the cost of foreign dependency on fossil fuels is high. The world's unconscious consumption of fossil fuels increases the greenhouse gas effect. Different ways bring the impacts of global climate change, one of the results of greenhouse gas emissions, on humanity to light. It is evident that climate change increases the frequency of unusual meteorological occurrences and contributes to socioeconomic concerns in various nations. First the Kyoto Protocol and subsequently the Paris Climate Agreement were ratified by the worldwide community in an effort to stop climate change and limit the amount of carbon released into the atmosphere. If fossil fuels remain the primary energy source, the International Energy Agency (IEA) predicts that worldwide energy-related CO₂ emissions will continue by almost 50% by 2030. If the predicted comes true, it will be inevitable that there will be many negative problems on Earth. Considering the negative consequences of global warming and foreign dependency in energy supply, the search for renewable energy sources has become inevitable.

In comparison to other energy sources, hydroelectric power has the lowest greenhouse gas (GHG) emissions per kilowatt hour (kWh). Over its entire life cycle, A coal power station typically emits 820 gCO₂-eq/kWh of carbon dioxide, compared to 18.5 gCO₂-eq/kWh for a hydroelectric power plant. With this knowledge, it is clear that hydroelectric power facilities emit 97.7% fewer greenhouse gases than coal-fired power plants. Hydroelectric energy reduces greenhouse gas emissions by

96.2% compared to natural gas, 92% compared to biomass, 61.5% compared to solar energy and 51.3% compared to geothermal energy. Nevertheless, compared to hydroelectric energy, wind energy offers a 40.5% reduction in greenhouse gas emissions. Using water in energy production compared to fossil fuels such as coal means preventing 8 million tons of nitrogen oxides, 62 million tons of sulfur dioxide and 148 million tons of particles released into the atmosphere.

Renewable energy sources (hydraulic, biomass, wind, geothermal, wave, solar etc.); It is of great importance due to its economically valuable features such as being a domestic resource in the energy policies of countries, contributing to energy supply security, being clean, and contributing to the reduction of emissions in the fight against global warming.

Bioenergy and hydroelectric energy, which are accepted as renewable energy sources, have been studied and evaluated. First of all, in-depth literature research was conducted and scientific studies were examined in detail. In the study, the Eastern Black Sea Region, which is quite suitable for the installation of hydroelectric power plants in Turkey due to its geographical features, was chosen. For bioenergy power plants, a sample was selected from power plants producing in various parts of Turkey. In the comparison of two renewable energy sources, many parameters such as amortization, installation costs, maintenance costs, production gains, government incentives, raw material supply processes, transmission line losses, carbon emissions, which were determined in the literature studies, were assessed and interpreted in light of information gathered by authorities on the ground. While hydroelectric energy and biofuels was compared to power plants in the literature, the two types of energy were compared in common in the study. During this comparison, a comprehensive study was conducted using the data of 19 hydroelectric power plants and 14 bioenergy power plants. The total installed power of the power plants selected from the Eastern Black Sea Region is 241.24 MW. In Turkey, the installed power of river type hydroelectric power plant is 8293 MW according to TEİAŞ September 2022 report. The ratio of selected power plants to all power plants is 2.9%. According to the TEİAŞ September 2022 report, the number of river type power plants is 609. The ratio of the sampled power plants to all river type power plants is 3.11%. The total installed power of the selected bioenergy plants is 157.01 MW. The installed power of bioenergy power plants in Turkey is 1822.9 MW according to the TEİAŞ September 2022 report. The ratio of the selected power plants to all power plants is 8.6%. According to the TEİAŞ September 2022 report, the number of bioenergy power plants is 383. The ratio of sampled power plants to all bioenergy power plants is 3.6%.

Because the research is being conducted based on information gathered from field personnel, it is also original in terms of practical knowledge. The data was statistically examined using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) application. As a consequence of these assessment, the advantages and disadvantages of hydroelectric power plants and bioenergy power plants were revealed. Due to the topographic structure of Turkey, the number of hydroelectric power plants and their installed power are considerably higher than bioenergy plants. In addition, the installation costs, emission amount, maintenance costs and transmission line losses of hydroelectric power plants are more advantageous than bioenergy, and the amortization period of bioenergy plants is advantageous compared to hydroelectric power plants. In environments where precipitation regime is appropriate, hydroelectric power plant installation can be considered to be suitable and

continuous compared to bioenergy plants. In geographical places where the precipitation regime is not regular, it may be regarded that the building of a bioenergy plant will be favorable according to the raw material that is acceptable for supply. Because the emission rate of two renewable energy sources is far lower than that of fossil fuels, it is possible that they will mitigate the detrimental impacts of global warming. Investments in renewable energy sources are predicted to increase, as fossil fuels also generate foreign reliance and greenhouse gas emissions, and government incentives are also expected to promote and assure the sustainability of these investments.

1. GİRİŞ

1.1. Sera Gazı Emisyonu ve Küresel Isınma

Atmosferde biriken karbondioksit gazları güneş ışınlarının yansımını önlemekte, bu durum yerkürenin normalden fazla ısınmasına sebep olmakta ve dünyayı tehdit eden bir unsur olan küresel ısınma ortaya çıkmaktadır. Küresel ısınma arttıkça doğanın hidrolojik sistemi bozulmaktadır. Hidrolojik sistemin bozulduğunu gösteren temel olaylar; yağış rejimlerinde aşırılıklar, kar ve buzulların erimesi, buharlaşmanın artması, toprak nemindeki değişiklikler olarak karşımıza çıkmaktadır. İklim değişikliğinin olağanüstü meteorolojik olayların sıklığını artırdığı ve ülkelerin sosyo-ekonomik sorunlar yaşamasına neden olduğu görülmektedir (Fang ve ark., 2015).

İklim değişikliğinin önüne geçmek ve atmosfere salınan karbonu kontrol altında tutmak için uluslararası camiada ilk olarak Kyoto Protokolü, daha sonrasında ise Paris İklim Anlaşması imzalanmıştır. Bu anlaşmalara göre ülkeler atmosferde kaydedilen sera gazlarını belirli bir seviyede tutmaktan sorumlu olacaktır. Bu durum ülkeler arasında Karbon Öde Piyasası kavramının doğmasına neden olmuştur. Karbon piyasası, sera gazları için kurulan ve emisyon kaynaklarına tahsis edilen emisyon izinlerinin ticaretinin yapıldığı bir piyasadır. Emisyon azaltım maliyeti her ülke için farklılık göstermektedir. Bazı ülkeler sera gazlarını diğerlerinden daha düşük maliyetle ve daha yüksek oranlarda azaltabilir. Bir ülke, Kyoto Protokolü'nün 3. ve 17. maddeleri uyarınca emisyon izinlerine ihtiyaç duyan diğer ülkelere izinlerini satabilir. Bu amaçla ticarete katılmak isteyen ülke kendi bünyesinde bir emisyon izleme, kontrol ve dağıtım sistemi kurmalı ayrıca uluslararası standartlara uymayı garanti etmelidir (Fang ve ark., 2015).

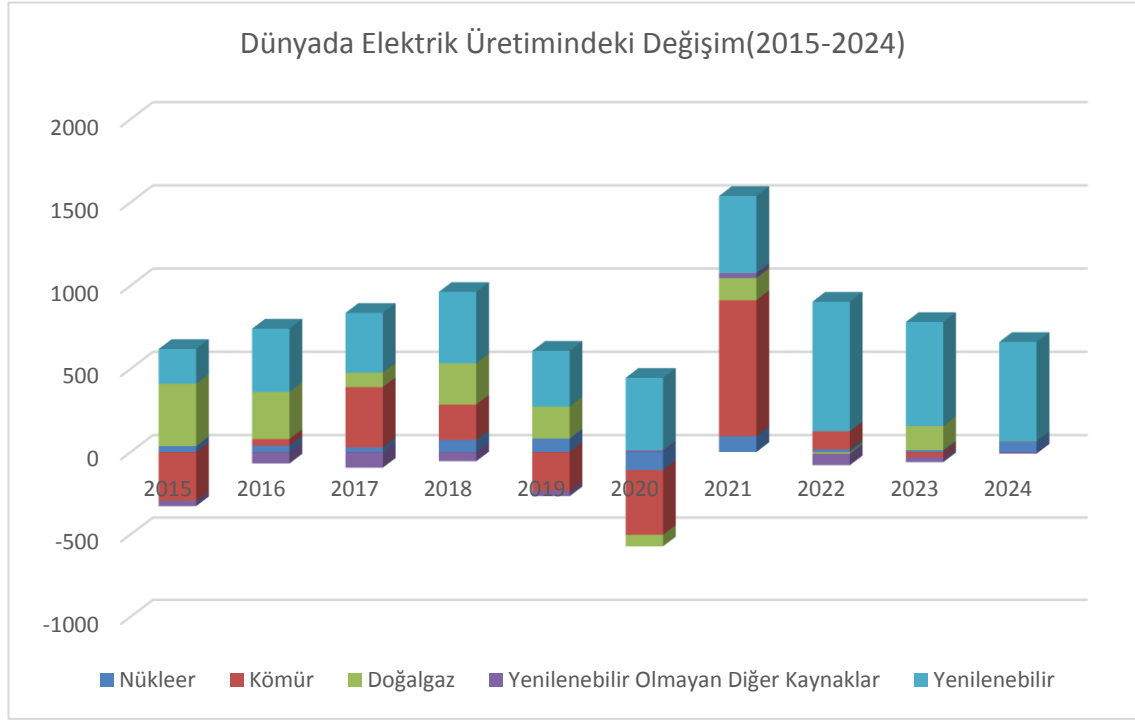
Türkiye için sera gazı ile ilgili ilk çalışmalardan biri 2000 yılında Devlet Planlama Teşkilatı aracılığıyla hazırlanan "Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı-İklim Değişikliği Özel Uzmanlar Raporu"nda yapılmıştır. Türkiye Sera Gazı Emisyonları ve Projeksiyonları başlığı altında enerji ile ilgili emisyonlar ayrıntılı olarak tartışıldı. 2004 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ve 2009 yılında Kyoto Protokolü Türkiye tarafından onaylanmıştır. Sözleşmeye taraf

Ek I olarak, ulusal sera gazı, “Revize 1996 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Kılavuz İlkeleri” ve “Ulusal Sera Gazı Envanterlerinde İyi Uygulama Rehberi ve Belirsizlik Yönetimi” kullanılarak hesaplanmaktadır. UNFCCC kapsamında bu hesaplamalar Türkiye İstatistik Kurumu tarafından 2020 yılında “Türkiye Sera Gazı Envanter Raporu, 1990-2018”e dahil edilmiştir (Sahin ve Esen, 2022).

1.2. Elektrik Enerjisi-Sera Gazı Emisyonu İlişkisi

Elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanmasıyla birlikte elektrik üretmek için petrol, kömür ve doğal gaz kullanımı hızla artmış ve enerji nerede üretilirse tüketim noktasına çok kolay bir şekilde ulaştırılmaya başlanmıştır. Enerji denilince akla ilk gelen tür elektrik enerjisi olduğu için, elektrik üretiminde başlıca enerji kaynağı olarak fosil yakıtların kullanılması zorunlu ihtiyaç olarak görülmesi sebebiyle doğaya bıraktıkları etki geri planda kalmıştır. Fosil yakıtların aşırı kullanımından kaynaklanan sorunlar son on yıllara kadar göz ardı edilmiştir. Bu sorunların en başlıcası ve tüm dünyayı etkileyen sera gazı emisyonlarıdır (GHGe). Atmosferde ısıyı tutan gazlara sera gazları denir. Enerji üretimi, taşınması ve tüketimi sırasında karbondioksit, metan ve azot oksit gibi sera gazları açığa çıkmaktadır (Sahin ve Esen, 2022).

Şekil 1.1.'de Dünyada elektrik üretimindeki değişim görülmektedir (Kaunda ve ark., 2012).



Şekil 1.1. Dünyada Elektrik Üretimindeki Değişim (2015-2024)

Fosil yakıt kaynaklarının tükenmesinin yanında, bu kaynakların çevre kirliliğine yol açması sebebiyle farklı enerji kaynağı arayışına ihtiyaç duyulmuştur. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA), fosil yakıtların ana enerji kaynağı olmaya devam etmesi durumunda, 2030 yılına kadar küresel enerji ile ilgili karbondioksit (CO₂) emisyonlarında yaklaşık %50'lik bir artışa neden olacağını tahmin ediyor. IEA Enerji Teknolojisi Perspektifleri Temel Senaryosuna göre, CO₂ emisyonlarının 2014'teki 35,9 Gt'den 2030'a kadar 42 Gt'ye çıkması öngörülmektedir. CO₂ emisyonlarındaki büyüme bu senaryoda olduğu gibi süregelirse, 2050 yılına kadar 57 Gt CO₂ salınacaktır. Küresel ısınma ve iklim değişikliği tehdidi endüstriyi enerji kaynaklarını daha verimli kullanmaya zorlarken, enerji kaynaklı sera gazı (GHG) emisyonları da son yılların insan sağlığını tehdit eden ciddi konusu haline gelmiştir (Chen ve ark., 2010).

Elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanan sera gazı, dünyadaki toplam emisyonların %41,7'sini oluşturmaktadır (Florini, 2011). Elektriğin üretimi konusunda ülkeler arasında büyük farklılıklar vardır. Bu farklılıkların nedenleri üretim kaynakları ve verimlilikleridir. Elektrik üretim kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve yenilenebilir

kaynakların artırılması ile çok daha hızlı ve etkin sonuçlar alınabilir. Türkiye'nin toplam elektrik talebi, endüstriyel ve ekonomik gelişimine paralel olarak hızla artmaktadır. 1980-2020 yılları arasında elektrik üretiminin toplam kurulu gücü 5118,7 MW'dan 95890.6 MW'a yükselmiştir. Aynı dönemde brüt talep 24616.6 GWh'den 306703,1 GWh'ye yükselmiştir (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi [TEİAŞ], 2022). Ortalama yıllık artışlar sırasıyla %7,6 ve %6,5'tir.

1.3. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kurulu Güçlerinin Türkiye’de Tarihsel Gelişimi

Hidroelektrik santraller (HES) 1984 yılına kadar Türkiye’de tek yenilenebilir enerji kaynağı (YEK) idi ve 1983 yılında kurulu güç ve brüt üretimdeki payları sırasıyla %46,7 ve %41,5 idi. Türkiye'nin coğrafi özelliklerinin HES yapımına elverişli olması nedeniyle, 1950'li yıllardan itibaren enerji politikaları bu alanda büyük yatırımlar yapmaya yönelmiştir. Sonuç olarak 1988 yılında üretimdeki payı %60,3'e ulaşmıştır (TEİAŞ, 2022).

Ancak hidroelektrik santrallerin sanayileşme ile başlayan aşırı talebi karşılamada yetersiz kalması nedeniyle yine fosil yakıtlı santraller (FFPP'ler) öne çıkmaya başlamıştır. 1983 yılı itibari ile elektrik üretiminde doğalgaz kullanılmaya başlanmış ve sadece 5 yılda üretimdeki payı %18'e çıkarken, HES'lerin payı %34,5'e düşmüştür (TEİAŞ, 2022). Jeotermal enerji Türkiye'nin ikinci YEK'idir ve 1984 yılından beri kullanılmaktadır ancak payı çok düşük ve 2015 yılına kadar %1'in altındadır. 1998 yılında rüzgâr enerjisi 8.7 MW kurulu güç ile elektrik üretiminde kullanılmaya başlanmış ve 20,1 MW'a yeni ulaşmıştır. 2005 yılına kadar büyük bir gelişme olmamasına rağmen rüzgâr santrallerine (RES) verilen önem katlanarak artmış ve 2020 yılına kadar kurulu gücü 8832,4 MW'a ulaşmıştır (TEİAŞ, 2022). Türkiye’de güneş enerjisi en çok gecikmeli YEK'te olmuş ve güneş enerjisinden elektrik üretimi 40,2 MW kurulu güç ve 17,4 GWh brüt üretim ile ancak 2014 yılında başlamıştır (TEİAŞ, 2022). Güneş enerjisi bu gecikmeye rağmen elektrik sektöründe en hızlı büyüyen enerji kaynağıdır. Sadece 5 yılda kurulu gücü ve brüt üretimi 6667,4 MW ve 10950.2 GWh'ye ulaşırken, payları sırasıyla %6,95 ve %3,6'ya ulaşmıştır (TEİAŞ, 2022).

Farklı ülkeler için elektrik üretiminden GHGe konusunda kamu ve özel kurumlar, araştırmacılar, akademisyenler tarafından yürütülen birçok çalışma bulunmaktadır.

Çalışmaların bazıları doğrudan toplam emisyonları bulmayı amaçlarken, bazıları elektrik üretimi ile GHGe arasındaki ilişkiyi incelemiştir (İnglesi-Lotz ve Dogan, 2018). Karbon faktörlerini veya emisyon yoğunluklarını belirlemek için farklı analiz yöntemleri kullanılsa da çoğunlukla ayrıştırma yaklaşımı kullanılmaktadır (De Oliveira-De Jesus, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı düşük karbonlu üretime geçiş için dünya çapında yaygın hale gelmektedir. Özellikle kömür ve petrol türevi santrallerin ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılamak için ürettiği CO₂ gazı atmosferde birikmekte ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır (Chuang ve ark., 2018).

Yenilenebilir enerji kaynakları ülkelerin enerji politikalarında yerli kaynak olması, enerji arz güvenliğine katkı sağlaması, temiz olması, küresel ısınma ile mücadelede emisyonların azaltılmasına katkı sağlaması gibi ekonomik değer taşıyan özellikleri nedeniyle büyük önem taşımaktadır (Chuang ve ark., 2018).

1.4. Türkiye'nin Elektrik Üretiminde Yenilenebilir Enerjinin Rolü

Ülkeler enerji ihtiyacının çoğunu oluşturan elektrik enerjisini tedarik etmek için çeşitli kaynaklara yönelmekte ve doğal olarak ilk tercihi kendi kaynakları olmaktadır. Birçok ülkenin enerji politikaları öncelikle bu kaynakların kullanımına odaklanmak olmuştur. Bu bağlamda elektrik kullanımının yaygınlaştığı Türkiye'de elektrik üretimi için en çok taşkömürü ve linyit kullanılmıştır. 1950'lere kadar elektrik, kurulu güçteki payları sırasıyla %96,6 ile konvansiyonel termik ve %4,4 küçük bir miktar hidroelektrik ile üretiliyordu. Sadece on yılda toplam kurulu güç 407,8 MW'dan 1272,4 MW'a, konvansiyonel termal kapasite 389,9MW'dan 860.5MW'a ve hidro kapasite 17,9 MW'dan 411.9 MW'a yükseldi. Böylece toplam artış %212, konvansiyonel termikte artış %120,7 ve hidroelektrik kurulu kapasitesi %2201,1 artış göstermiştir (TEİAŞ, 2022). Tabii ki HES'lere yapılan yatırımın ve verilen önemin ana motivasyonu, elektrik kullanımını yaygınlaştırmak için üretimi büyük ölçüde artırmak ve bunu son tüketiciye daha düşük maliyetlerle ulaştırmak olmuştur. HES yatırımlarına zaman zaman ara verilmiş olsa da kapasitesi artmış ve günümüze kadar önemini korumuştur.

Türkiye'de yenilenebilir enerji, HES'ler tarafından elektrik üretiminde kullanılmaya başlandı ve YEK'e yönelik eğilim son 15 yıla bakıldığında artarak devam etti. Tablo

1.1'de görüldüğü gibi yenilenebilir kurulu güç, son 15 yılda yıllık ortalama %9,3 büyüme oranı ile 11221,6 MW'dan 99819,6 MW'a yükselmiştir (TEİAŞ, 2022).

Tablo 1.1. Yenilenebilir Kaynaklı Kurulu Gücün Türkiye Toplam Kurulu Gücü İçindeki Payının Yıllar İtibariyle Gelişimi

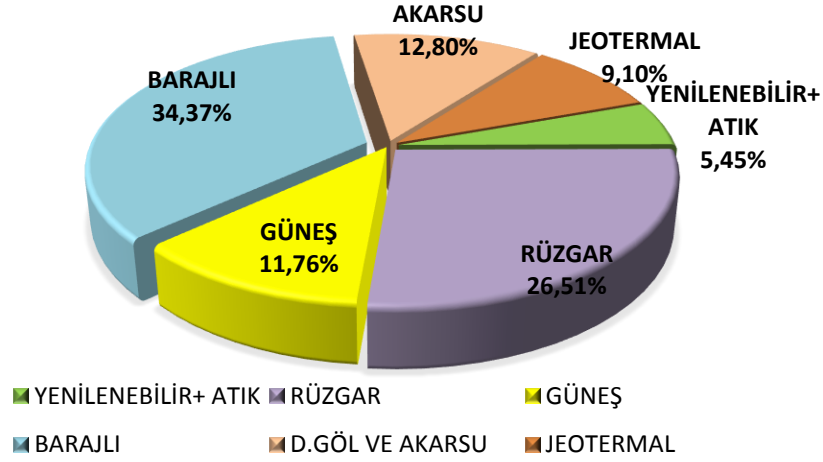
| YENİLENEBİLİR KAYNAKLI KURULU GÜCÜN TÜRKİYE TOPLAM KURULU GÜCÜ İÇİNDEKİ PAYININ YILLAR İTİBARIYLA GELİŞİMİ(2000-2021) | | | | | | | | | | |
|---|---------|-----------------|-----------------|-----------|--------|--------|-----------|---------------------------|----------------------------|------------------------|
| BİRİM: MW | | | | | | | | | | |
| YILLAR | BARAJLI | D.GÖL VE AKARSU | HİDROLİK TOPLAM | JEOTERMAL | RÜZGAR | GÜNEŞ | BIYOKÜTLE | YENİLENEBİLİR KURULU GÜCÜ | TÜRKİYE TOPLAM KURULU GÜCÜ | YENİLENEBİLİRİN PAYI % |
| 2000 | 10501,4 | 673,8 | 11175,2 | 17,5 | 18,9 | | 10 | 11221,6 | 27264,1 | 41% |
| 2001 | 10959,4 | 713,5 | 11672,9 | 17,5 | 18,9 | | 10 | 11719,3 | 28332,4 | 41% |
| 2002 | 11469,4 | 771,5 | 12240,9 | 17,5 | 18,9 | | 13,8 | 12291,1 | 31845,8 | 39% |
| 2003 | 11752,4 | 826,3 | 12578,7 | 15 | 18,9 | | 13,8 | 12626,4 | 35587 | 35% |
| 2004 | 11752,4 | 893 | 12645,4 | 15 | 18,9 | | 13,8 | 12693,1 | 36824 | 34% |
| 2005 | 11967,4 | 938,6 | 12906 | 15 | 20,1 | | 13,8 | 12954,9 | 38843,5 | 33% |
| 2006 | 11966,9 | 1095,8 | 13062,7 | 23 | 59 | | 19,8 | 13164,5 | 40564,8 | 32% |
| 2007 | 12262 | 1132,9 | 13394,9 | 23 | 147,5 | | 21,2 | 13586,6 | 40835,7 | 33% |
| 2008 | 12422,8 | 1405,9 | 13828,7 | 29,8 | 363,7 | | 38,2 | 14260,4 | 41817,2 | 34% |
| 2009 | 12681,7 | 1871,7 | 14553,4 | 77,2 | 791,6 | | 65 | 15487,2 | 44761,2 | 35% |
| 2010 | 13067,1 | 2764,2 | 15831,3 | 94,2 | 1320,2 | | 85,7 | 17331,4 | 49524,1 | 35% |
| 2011 | 13529,3 | 3607,7 | 17137 | 114,2 | 1728,7 | | 104,2 | 19084,1 | 52911,1 | 36% |
| 2012 | 14744,6 | 4864,8 | 19609,4 | 162,2 | 2260,6 | | 147,3 | 22179,5 | 57059,4 | 39% |
| 2013 | 16142,5 | 6146,6 | 22289,1 | 310,8 | 2759,7 | | 178 | 25537,6 | 64007,5 | 40% |
| 2014 | 16606,9 | 7036,3 | 23643,2 | 404,9 | 3629,7 | 40,2 | 227 | 27945 | 69519,8 | 40% |
| 2015 | 19077,2 | 6790,6 | 25867,8 | 623,9 | 4503,2 | 248,8 | 277,1 | 31520,8 | 73146,7 | 43% |
| 2016 | 19558,6 | 7122,5 | 26681,1 | 820,9 | 5751,3 | 832,5 | 363,8 | 34449,6 | 78497,4 | 44% |
| 2017 | 19776 | 7497,1 | 27273,1 | 1063,7 | 6516,2 | 3420,7 | 477,4 | 38751,1 | 85200 | 45% |
| 2018 | 20536,1 | 7755,3 | 28291,4 | 1282,5 | 7005,4 | 5062,8 | 621,9 | 42264 | 88550,8 | 48% |
| 2019 | 20642,5 | 7860,5 | 28503 | 1514,7 | 7591,2 | 5995,2 | 791,3 | 44395,4 | 91267 | 49% |
| 2020 | 22925 | 8058,9 | 30983,9 | 1613,2 | 8832,4 | 6674,4 | 1105,3 | 49209,2 | 95890,6 | 51% |
| 2021 | 23280,4 | 8212,2 | 31492,6 | 1676,2 | 10607 | 7815,6 | 1642,7 | 53234,1 | 99819,6 | 53% |

Bu oranlar hidro, jeotermal, rüzgâr, güneş ve biyokütlede sırasıyla %6,0, 36,6, 50,0, 134,4 ve %33,9'dur. 2005 yılında hidro, toplam yenilenebilir kurulu gücün %99,6'sını oluştururken, kurulu gücü %139,4 artmasına rağmen bu oran 2020'de %63,0'a 2021'de ise %59,1'e düştü. YEK'i hem artırmaya hem de çeşitlendirmeye odaklanan enerji politikaları sonucunda, toplam kurulu güç içindeki yenilenebilir pay aynı dönemde %41,2'den %53,3'e yükselmiştir. Güneş enerjisi santrallerinin (GES) kapasitesi büyük ölçüde artmıştır, ilk devreye alınmasıyla kapasitesi sadece 3 yıl içinde jeotermal ve biyokütleyi aşmıştır (TEİAŞ, 2022).

2020 yılında YEK'ten elektrik üretimi yıllık ortalama %8,2 büyüme oranı ile 39836.3 GWh'den 129637,0 GWh'ye yükselmiştir.

Şekil 1.2.'de Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretiminin dağılımı verilmiştir. Burada %34,37 Barajlı ve %12,8 Göl-Akarsu toplamda %47,17 ile yenilenebilir enerji kaynaklarından en çok üretime katkı sağlayan kaynağın HES olduğu görülmüştür (TEİAŞ, 2022).

2021 TÜRKİYE'NİN YENİLENEBİLİR KAYNAKLARDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNİN DAĞILIMI



Şekil 1.2. 2021 Türkiye'nin Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretiminin Dağılımı

Tablo 1.2. de Yenilenebilir enerji kaynaklarından 2021 yılında elektrik üretim miktarları verilmiştir (TEİAŞ, 2022).

Tablo 1.2. Yenilenebilir Kaynaklarından 2021 Yılı Elektrik Üretim Miktarları (GWh)

| | GWh | % |
|----------------------------|-------------------|------------|
| Yenilenebilir+ Atık | 6.467,80 | 5,45 |
| Rüzgâr | 31.436,70 | 26,51 |
| Güneş | 13.942,90 | 11,76 |
| Barajlı | 40.746,30 | 34,37 |
| D.Göl ve Akarsu | 15.180,50 | 12,8 |
| Jeotermal | 10.793,20 | 9,1 |
| Toplam | 118.567,50 | 100 |

Tablo 1.3 de 2021 yılı tüm elektrik üretim miktarının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretim miktarı oranlanmıştır ve %35,42 enerjinin yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlandığı görülmüştür (TEİAŞ, 2022).

Tablo 1.3. 2021 Yılı Elektrik Üretim Miktarlarının Tüm Elektrik Üretimine Oranı (GWh)

| | GWh | % |
|-----------------------------|-------------------|------------|
| Yenilenebilir Toplam | 118.567,50 | 35,42 |
| Türkiye Toplam | 334.723,10 | 100 |

Yenilenebilir kurulu gücün yıllık ortalama büyüme oranı %9,3 iken, üretimde bu oran %8,2'dir. Elde edilen iki değer birbirine yakın olmasına rağmen üretim tarafında sürekli bir artış yoktur ve çok daha fazla oynaklık vardır. Bu istikrarsızlık tamamen yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük payına sahip olan hidroelektrik santrallerinden kaynaklanmaktadır ve diğer YEK'te artış süreklidir. Bunun nedeni, HES'lerin üretim kapasitesinin mevsimsel koşullardan yüksek oranda etkilenmesidir (TEİAŞ, 2022).

2005-2020 yılları arasında toplam kurulu güç içindeki yenilenebilir payı %33,4'ten %51,3'e, buna paralel olarak toplam üretim içindeki payı da %24,6'dan %42,3'e yükselmiştir. Toplam kurulu güç ve toplam üretimde sırasıyla %146,9 ve %89,2 artış olmasına rağmen, bu artışlar yenilenebilirde %279,8 ve %225,4 olmuştur. Böylece hem kurulu güçte hem de toplam üretimde yenilenebilir paylarında artışlar sağlanmıştır. HES'lerdeki oynaklık nedeniyle toplam yenilenebilir üretim ve payında da dalgalanmalar görülmektedir (TEİAŞ, 2022).

Türkiye'de son yıllarda birçok nedenden dolayı elektrik talebi artmış ve bu talep yeni santraller kurularak ve kurulu kapasiteleri artırılarak başarıyla karşılanmıştır. Bu artışın büyük bir kısmı hem enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için öz kaynaklarımızdan yararlanmak hem de daha çevre dostu olmak amacıyla YEK'ten sağlanmıştır.

Türkiye'nin kurulu gücü 4.11.2022 tarihi itibarıyla ise 103235,25 MW olarak bildirilmiştir (TEİAŞ, 2022).

Çalışmanın motivasyonu giderek artan sanayileşme, enerji arzı ve aynı zamanda bunun getirisi olarak görülen karbon emisyonunu araştırıp, küresel ısınma ve elektrik üretiminde iki yenilenebilir enerji kaynağını karşılaştırmak, bu kaynakların avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymaktır. Çalışmada hidroelektrik santral ve biyoenerji santral yetkilileri ile yüzyüze veya online olarak görüşülerek iki yenilenebilir enerji kaynağı için literatürde de araştırmaları ve analizleri yapılan çeşitli parametreleri sahadan elde ederek değerlendirmek amaçlanmıştır. Daha sonra bu parametrelerin literatür taraması bölümünde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılması için literatür incelemesine geçilmiştir. Yöntem bölümünde elde edilen verilerin nasıl toplandığı ve değerlendirildiğine açıklık getirilmiştir. Çalışma sonuçları SPSS programında analiz

edilerek sonuçlar kısmında çalışmanın değerlendirilmesi yapılmış ve öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Hidroelektrik Enerji

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında teknolojik olarak en çok gelişme gösteren enerji kaynağı hidrolik enerjidir. Sera gazı emisyonunu azaltmada, hidrolik enerji kaynak kullanımının fosil yakıt kullanımına göre daha çok tercih edilmesi gerektiğinin önemi vurgulansa da birçok ülkede insanlar çevresel etkileri nedeniyle bu yatırımlara karşı çıkmaktadır. Hidroelektrik santrallerin en sık karşılaşılan dezavantajları arasında; baraj rezervuarı altındaki yerleşim yerlerinde yaşayan insanların zorunlu göçü, yaban hayat habitatlarının ve göç yollarının zarar görmesi, bölgesel yağış düzeninin etkilenmesi, barajın mansabındaki suyun kontrollü olarak nehre bırakılması vb. gibi sebepler gösterilmektedir. Tüm olumsuz etkilerine rağmen, hidroelektrik enerji üretiminin günümüzde elektrik üretiminin en ucuz yolu olduğu bilinmektedir. En popüler yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr ve güneş enerjisinin de çevreye önemli zararlar verdiği bilinmektedir. Güneş enerji sistemleri, yüksek bakım maliyetlerine ek olarak, geniş arazi kapsama alanı ile verimli arazi kullanımını engelleyerek toprak erozyonuna neden olabilmektedir. Benzer şekilde, rüzgâr enerji sistemlerinde dönen türbinlerin neden olduğu hava basıncı değişikliklerinin birçok kuş ve yarasanın ölümüne neden olduğu bilinmektedir. Enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların sosyal, ekonomik ve çevresel etkileri topluca değerlendirildiğinde en çok tercih edilen enerji türü hidroelektrik enerjinin olduğu bilinmektedir (Kramarz ve ark., 2021).

Olumsuz etkiler bir yana bırakıldığında, hidroelektrik enerji, temiz, yenilenebilir bir enerji olup tüm Dünyada enerji üretimindeki payı %16'ı; yenilenebilir elektrik üretimindeki payı ise yaklaşık %78'tir. Hidroelektrik projelerin başlangıçtaki yatırım maliyetleri fazla gibi hesaplınsa da uzun ekonomik ömrü, düşük bakım ve işletme maliyetleri nedeniyle oldukça avantajlı olduğu bildirilmiştir (Esin, 2020).

Yıllık global hidroelektrik enerji potansiyeli 14.368.000 GWh'tir. Günümüz teknolojisinin doğurduğu maliyet göz önünde bulundurulduğunda, hidroelektrik enerji potansiyelinin yalnızca yıllık 8.181.000 GWh'lik bir kısmının ekonomik hidroelektrik enerji potansiyelini oluşturduğu bilinmektedir. Hidroelektrik

potansiyelin Güney Amerika (%19,81), Kuzey ve Orta Amerika (%41,84), Avrupa (48.39), Asya (%12,23), Afrika (%4,8), Avustralya /Okyanusya (%22,57)'ini kullanabilmiştir. Eldeki verilerden anlaşıldığı gibi uluslararası platformda boşa giden, kullanılmayan hidroelektrik enerji potansiyelinin büyük çoğunluğu Asya, Latin Amerika ve Afrika'da yer almaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamadaki büyük payın hidroelektrik enerji olduğu ülkelerden ilk 10'unun toplam enerji üretimi tüm Dünyadaki hidroelektrik enerji üretiminin %66'sına tekabül etmektedir (Tutuş ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2009).

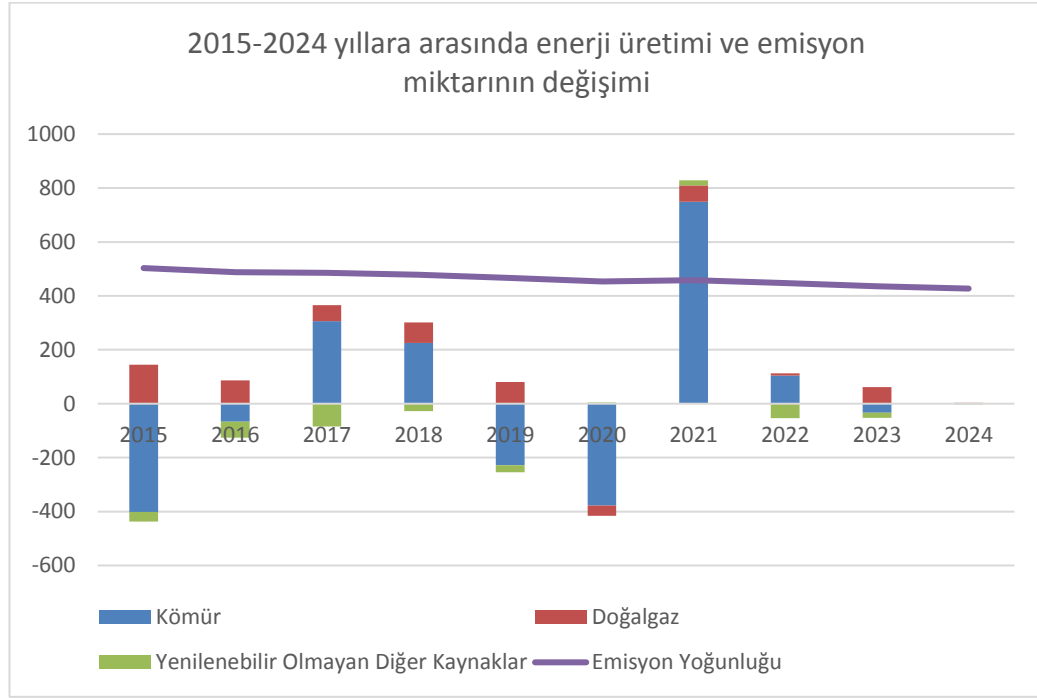
2019 verilerine göre kWh başına maliyetler; Hidroelektrik santraller için 0,047 USD, güneş enerjisi için 0,068 USD, kara rüzgârı için 0,053 USD, açık deniz rüzgârı için 0,115 USD, jeotermal için 0,073 USD, biyoenerji için 0,066 USD'dir (Murdock ve ark., 2021).

Paris Anlaşması ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri bünyesinde gerçekleştirilen hidroelektrik projeleri, birçok ülkenin iklim değişikliklerinin olumsuz etkilerinden korunmasını hedeflemektedir. Hidroelektrik enerjinin, diğer enerji kaynaklarına kıyasla kilovat saat başına (kWh) en düşük sera gazı (GHG) emisyonuna sahip olduğu bilinmektedir. Tüm yaşam döngüsü boyunca, bir kömür santralının ortalama karbon eşdeğer yoğunluğu 820 gCO₂-eq/kWh iken, hidroelektrik santralin 18,5 gCO₂-eq/kWh olduğu görülmektedir (Henley, 2019).

Bu bilgi ışığında hidroelektrik santrallerin sera gazı emisyonlarını kömür santrallerine göre %97,7 oranında azalttığı görülmektedir. Hidroelektrik enerji, sera gazı emisyonlarını doğal gaza göre %96,2, biyokütleyle göre %92, güneş enerjisine göre %61,5 ve jeotermal enerjiye göre %51,3 oranında azaltmaktadır. Fakat rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerjiye kıyasla sera gazı emisyonlarında %40,5 avantaj sağlamaktadır. Enerji üretiminde kömür gibi fosil yakıtlara kıyasla suyun kullanılması, atmosfere salınan 8 milyon ton nitrojen oksid, 62 milyon ton kükürt dioksit ve 148 milyon ton partikülün önlenmesi anlamına gelmektedir (Henley, 2019).

Sonuç olarak, küresel iklim değişikliği yenilenebilir enerji kaynakları alanındaki çabaları artırmıştır. Özellikle hidroelektrik ve güneş enerjisi üzerine yapılan araştırmaların diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazla olduğu

bildirilmiştir (Solaun ve Cerdá, 2019). Şekil 2.1. 'de 2015-2024 yıllara arasında enerji üretimi ve emisyon miktarının değişimi verilmiştir (Kaunda ve ark., 2012).



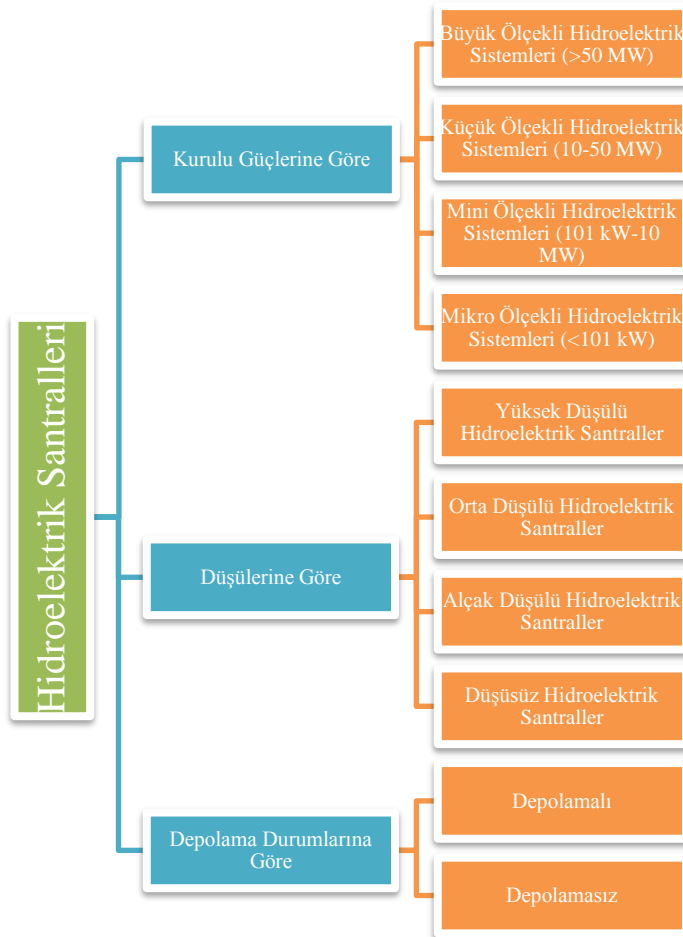
Şekil 2.1. 2015-2024 Yıllara Arasında Enerji Üretimi ve Emisyon Miktarının Değişimi

2.2. Türkiye’de Hidroelektrik Kaynak Kullanımının Önemi

Türkiye, küresel ısınmanın yıkıcı sonuçları açısından riskli ülkelerin bulunduğu listede bulunmaktadır. Uzun vadede, çevresel etkileri azaltmak ve sürdürülebilir ekonomiyi desteklemek için hidroelektrik kaynaklarının kullanımı kilit rol oynayacaktır. Hidroelektrik santraller, sera gazı azaltımına önemli ölçüde katkıda bulunur ve küresel ısınmanın önlenmesinde kritik bir rol oynar. Üretilen enerjiyi fosil kaynaklara kıyasla aynı miktarda sağlarken, atmosfere salınan CO₂ miktarının da önüne geçerek Kyoto ve Paris gibi anlaşmaların amaçlarına hizmet etmektedirler. Örnek olarak yapılan çalışmada Gökçekaya barajından üretilen 597,85 GWh/yıl enerjinin gaz, petrol, kömür gibi fosil kaynaklardan üretilmesi durumunda ortalama 408.533,57 tCO₂/ yıl karbon emisyon azaltımı sağlayacağı öngörülmektedir. Yapılan çalışmada da görülmektedir ki hidroelektrik santrallerin küresel ısınmanın önlenmesinde çevreye katkısı tartışılmazdır. Çalışmanın ekonomik boyutuna bakıldığında, barajdan üretilen enerjinin ürettiği karbon emisyonunun azaltılmasından 2.479.833 \$'lık bir karbon piyasa değeri olacaktır.

2.3. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

Hidroelektrik Santral yapıları güçlerine, düşülerine ve depolama durumlarına göre sınıflandırılmaktadır (Süme ve Subutay Fırat, 2020). Şekil 2.2. de hidroelektrik santrallerin sınıflandırılmış şekli verilmiştir.



Şekil 2.2. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

2.3.1. Kurulu güçlerine göre sınıflandırma

Güçleri 50 MW üzerinde olan tesislere Büyük Ölçekli Hidroelektrik Sistemleri denilmektedir. Bu sistemler ulusal enerji şebekesine doğrudan iletim hatları vasıtasıyla bağlanabilmektedir. Önemli dezavantajları; orman ve yeraltı kaynaklarının israfı, ekolojiye ve habitata zarar veren uzun iletim hatları nedeniyle enerji kaybı ve uzun üretim süreleridir (Xu ve ark., 2015).

Güçleri 10-50 MW arasında olan tesislere ise Küçük Ölçekli Hidroelektrik Sistemler denilmektedir. Büyük Ölçekli Hidroelektrik Sistemlerde olduğu gibi bu tür de ulusal enerji şebekesine doğrudan iletim ve dağıtım hatları vasıtasıyla bağlanabilmektedir.

Büyük bir fabrikanın veya bir kasabanın enerji ihtiyacını karşılayabilecek güce sahiptir (Xu ve ark., 2015).

Kurulu gücü 101 KW-10 MW arasında olan tesislere ise Mini Ölçekli Hidroelektrik Santraller denilmektedir. Bu tesisler diğer türlerinden farklı olarak ulusal elektrik şebekesine katkısının az olması sebebiyle yalnızca dağıtım sistemlerine bağlanabilmektedir. Bu tesislerin daha küçük ve yerel yerleşim yerlerinin elektrik ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahip olduğu bilinmektedir (Xu ve ark., 2015).

Mini ölçekli hidroelektrik santralleri kirlilik içermeden üretim yapmaları, teknoloji seçiminde olgunluk, güvenilir-esnek operasyonlar ve bakım kolaylığı sağlamaları, çevre dostu olmaları, kırsal ve gelişmekte olan bölgelerde düşük maliyetle elektrifikasyon için en yüksek potansiyele sahip olmaları nedeniyle şebeke bağlantısının olmadığı uzak bölgelerde ekonomik ve erişilebilir elektrik olanağı sağlamaktadır (Laghari ve ark., 2013).

Kurulu güçleri 100 kW'tan küçük olan tesislere Mikro Ölçekli Hidroelektrik Sistemleri denilmektedir. Ulusal enerji şebekesinin ile herhangi bağlantısı bulunmamaktadır. Yalnızca bir yerleşim yapısının enerji ihtiyacını karşılama potansiyeline sahiptir. Bu yerleşim yapıları genellikle geçici yaşam alanı veya çiftlikler olarak değerlendirilen meralardır (Laghari ve ark., 2013).

2.3.2. Düşüye göre sınıflandırma

Düşü; hidroelektrik santrallerinde suyun hangi yükseklikten türbin üzerine bırakıldığıdır. 150 metreden fazla düşüye sahip hidroelektrik santrallere Yüksek Düşülü Hidroelektrik Santral; 20-150 m düşüye sahip olanlara Orta Düşülü Hidroelektrik Santral; 2-20 m düşüye sahip olanlara Alçak Düşülü Hidroelektrik Santral; <2m düşüye sahip olanlara ise Düşsüz Tip, Akıntı Tipi veya Sürüklenmeli Tip Hidroelektrik Santral adı verilmektedir (Süme ve Subutay Fırat, 2020).

2.3.3. Depolama durumlarına göre sınıflandırma

Depolamasız tesislerde, suyun bir kısmının iletim kanalı içerisine aktarıldığından dolayı küçük hidroelektrik santraller grubuna girmektedir. Bu sistemlerde en büyük dezavantaj yağışın olmadığı dönemlerde hiç çalışmamaları ya da çok düşük güçlerde çalışmalarıdır. Avantajı ise lokal olarak her yere kurulabilmeleri ve kurulum maliyetlerinin oldukça düşük olmasıdır. Bunun haricinde, depolamasız santraller

basit yapıları sebebiyle akarsu yatağında inşaat faaliyetlerini çok azalttıkları için dere yatağına minimum zarar veren yapılardır (Süme ve Subutay Fırat, 2020).

Depolamaya olanak tanıyan sistemlerde suyun önünde beton veya dolgu gövde yapısı kapatılarak rezervuar ve baraj oluşturulur. Bu yapı yağışlı zamanlarda suyu tutmak üzere tasarlanmaktadır. Yağışın olmadığı ve kurak dönemlerde rezervuarda tutulan su kullanılarak elektrik üretiminin devamlılığı sağlanmış olur. Kuruluş maliyeti bakımından oldukça pahalıdır ve daha karmaşık yapıya sahiptirler. Depolamalı tesislerde işletme koşullarına göre belli süre sonrasında baraj gölünün kil, balçık ve kum dolması gibi farklı sorunlarla karşılaşmak oldukça olasıdır. Böyle durumda temizlik amaçlı boşaltma faaliyetleri oldukça pahalı ve zor olmaktadır. Depolamalı tesisler ekonomik ve fiziksel ömürlerini bir süre sonra doldururlar (Süme ve Subutay Fırat, 2020).

2.4. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikası

Türkiye'de politikacıların temel hedeflerinden biri enerjide dışa bağımlılığı minimum düzeye indirmektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ağırlık vererek çeşitli enerji kaynaklarının kullanımını artırmak için hükümet tarafından üniversiteler ve diğer araştırma kuruluşları aracılığıyla girişimlerde bulunulmuştur. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynakları arasında kabul edilen hidroelektrik enerji güvenilir ve ekonomik enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, hidroelektrik Türkiye için yerli enerji kaynağıdır ve Avrupa'da elektrik üretimi için en yüksek potansiyele sahiptir (Kentel ve Alp, 2013).

2005 yılında Yenilenebilir Enerji Kanunu'nun (5346 Sayılı Kanun) yayımlanması ile hükümet, özel elektrik üretim tesislerinden 10 yıl süreyle 5,5 cent/kWh elektrik satın almayı taahhüt etmiştir. Ayrıca 2005 yılında küçük hidroelektrik santrallerin yapımına yönelik orman arazisi ediniminde %85 indirim uygulandı. Temmuz 2008'de yayınlanan 5784 sayılı Kanun ile tüzel kişilerin lisans almadan 500 kW'a kadar elektrik üretebilecekleri belirtildi ve hükümetin fazla elektrik satın alacağını garanti etti. Bu yasa, elektrik üreticilerini küçük ve mikro hidroelektrik santrallerine yatırım yapmaya çekmek amacıyla oluşturulmuştur. Hidroelektrik santraller için 5346 sayılı Kanun, 15 km²'den küçük rezervuar alanlarında kurulu kapasiteler için herhangi bir sınırlama olmadığını belirtmiştir. Bu yasa, özel sektörün nehir tipi hidroelektrik santrallerinden büyük hidroelektrik sistemlerine kaymasıyla sonuçlandı.

Mart 2013'te Enerji Piyasası Kanunu'nun (6446 Sayılı Kanun) yayımlanması ile lisanssız yenilenebilir enerji kurulu gücünün üst sınırı 500 kW'dan 1000 kW'a yükseltilmiştir. 2011 yılında 5346 sayılı Kanun, 6094 sayılı Kanun ile revize edilerek, feed-in fiyatının yeniden kullanılmasına rağmen yatırımcılara ek destek sağlanmıştır. Ayrıca, Türk firmalarının ürettiği yenilenebilir enerji sistemleri için yerel imalat sanayini desteklemeye yönelik devlet politikaları yapılmıştır. Tablo 2.1., yenilenebilir elektrik üretimi için garanti fiyatını ve yenilenebilir enerji santrali ve ekipmanının bir Türk üreticisi tarafından inşa edilmesi durumunda satış fiyatını göstermektedir (Gözen, 2014).

Tablo 2.1. Türkiye Yenilenebilir Enerji İçin Tarife Garantisi

| Enerji Türü | Tarife Garantisi | Yerli Ekipman Kullanılarak Ekipman Garantisi | Maksimum Destek |
|---|------------------|--|-----------------|
| | USD/MWh | USD/MWh | USD/MWh |
| Hidroelektrik | 73 | 23 | 96 |
| Rüzgar | 73 | 37 | 110 |
| Jeotermal | 105 | 27 | 132 |
| Biyokütle | 133 | 56 | 189 |
| Güneş pili | 133 | 67 | 200 |
| Yoğunlaştırılmış Güneş Enerji Sistemleri | 133 | 92 | 225 |

2.5. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli

Türkiye'de ortalama yağış yıllık 643 mm olup, Orta Anadolu'da 250 mm'den Türkiye'de Kuzeydoğu Karadeniz'de 2500 mm'nin üzerine kadar değişmektedir (Kankal ve ark., 2014). Bu, yılda yaklaşık 501 milyar m³ suya eşdeğerdir. Bunun 274 milyar m³'ü buharlaşmakta ve 41 milyar m³'ü yer altı suyunu sağlamaktadır. Türkiye'nin brüt yüzey suyu potansiyelinin yılda yaklaşık 186 milyar m³ olduğu tahmin edilmektedir (Melikoglu, 2013a).

Sınırdaki ülkelerden ve diğer yüzeysel akış ve yeraltı sularından gelen akış, sırasıyla 98 milyar m³/yıl ve 14 milyar m³/yıl'dır. Sonuç olarak, ekonomik olarak kullanılabilir su kaynaklarının toplam potansiyeli 112 milyar m³/yıl'dır (Kankal ve ark., 2014).

Tablo 2.2. büyük su havzalarının ortalama yıllık yağış miktarı ve brüt su potansiyeli hakkında ayrıntılı bilgi bulunmaktadır (Melikoglu, 2013a).

Tablo 2.2. Türkiye'nin Başlıca Su Havzalarının Yıllık Ortalama Yağış Miktarı, Brüt Su Potansiyeli ve Hidroelektrik Potansiyeli

| Havzanın adı | Yağış Alanı(m ²) | Yıllık Ortalama Akış(km ³ /yıl) | Oran | Brüt Enerji | Teknik Olarak Ulaşılabilir Üretim Potansiyeli |
|----------------|------------------------------|--|------------|---------------|---|
| Meriç-Ergene | 14560 | 1,33 | 0,70 | 1000 | 500 |
| Marmara | 24100 | 8,33 | 4,50 | 5176 | 2588 |
| Susurluk | 22399 | 5,43 | 2,90 | 10572 | 5286 |
| Kuzey Ege | 10003 | 2,09 | 1,10 | 2882 | 1441 |
| Gediz | 18000 | 1,95 | 1,10 | 3916 | 1958 |
| Küçük Menderes | 6907 | 1,19 | 0,60 | 1374 | 687 |
| Büyük Menderes | 24976 | 3,03 | 1,60 | 6262 | 3131 |
| Batı Akdeniz | 20953 | 8,93 | 4,80 | 13596 | 6798 |
| Antalya | 19577 | 11,06 | 5,90 | 23080 | 11540 |
| Burdur Gölü | 6374 | 0,50 | 0,30 | 884 | 442 |
| Akarçay | 7605 | 0,49 | 0,30 | 542 | 271 |
| Sakarya | 58160 | 6,40 | 3,40 | 11334 | 5667 |
| Batı Karadeniz | 29598 | 9,93 | 5,30 | 17914 | 8957 |
| Yeşilirmak | 36114 | 5,80 | 3,10 | 18684 | 9342 |
| Kızılırmak | 78180 | 6,48 | 3,50 | 19552 | 9776 |
| Konya | 53850 | 4,52 | 2,40 | 1218 | 609 |
| Doğu Akdeniz | 22048 | 11,07 | 6,00 | 27444 | 13722 |
| Seyhan | 20450 | 8,01 | 4,30 | 20874 | 10437 |
| Asi | 7796 | 1,17 | 0,60 | 4896 | 2448 |
| Ceyhan | 21982 | 7,18 | 3,90 | 22162 | 11081 |
| Fırat-Dicle | 184918 | 52,94 | 28,50 | 132828 | 66414 |
| Doğu Karadeniz | 24077 | 14,90 | 8,00 | 48478 | 24239 |
| Çoruh | 19872 | 6,30 | 3,40 | 22600 | 11300 |
| Aras | 27548 | 4,63 | 2,50 | 13114 | 6557 |
| Van Gölü | 19405 | 2,39 | 1,30 | 2592 | 1296 |
| Toplam | 779452 | 186,05 | 100 | 433002 | 216500 |

Referans alınan çalışmada brüt hidroelektrik potansiyeli teorik ortalama akış ve düşüş değerleri kullanılarak 433.000 GWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Türkiye'de ortalama 130.000 GWh/yıl elektrik üretimi ile toplam hidroelektrik üretim potansiyeli yaklaşık 216.500 GWh/yıl'dır (Koç, 2014).

Hidroelektrik üretiminin arazi alanı katsayısına, HPtoLA olarak tanımlanabilir. İsviçre en yüksek HPtoLA değerine sahipken, 0,0041 [(GWh/yıl) /km²] HPtoLA katsayısına sahip olan Birleşik Krallık, nispeten geniş arazisine kıyasla hidroelektrikten en düşük elektrik üretimine sahiptir. HPtoLA katsayısı 0.166 [(GWh/yıl) /km²] olan Türkiye, birim arazi başına potansiyel hidroelektrik üretimi

açısından performansı iyi ülkeler arasında sayılabilir. Türkiye 769.632 km² yüzölçümüne sahiptir ve 25 nehir havzasına bölünmüştür (Kucukali, 2014).

Türkiye'de yer alan en büyük hidroelektrik santraller Fırat Nehri üzerindedir ve 127.304 km² drenaj alanı ile ülkenin hidroelektrik potansiyelinin %30'unu oluşturmaktadır. Bu santraller sırasıyla 2400MW, 1800MW ve 1330MW kurulu güce sahip Atatürk, Karakaya ve Keban Hidroelektrik Santrallerini içermektedir. Ayrıca Karadeniz bölgesi, dik ve yüksek irtifaya sahip nehirleri ve debileri nedeniyle de büyük bir hidroelektrik potansiyeline sahiptir. Doğu Karadeniz bölgesindeki hidroelektrik santraller yüksek kapasite kullanım faktörüne sahiptir. Tablo 2.3'te görüldüğü gibi Türkiye 216 TWh/yıl ile Avrupa'daki en yüksek hidroelektrik potansiyeline sahiptir (S. Kucukali ve Baris, 2011).

Tablo 2.3. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyelinin Bazı Ülkeler ile Karşılaştırılması

| Ülke | Teknik Hidroelektrik Potansiyel (TWh/yıl) | Ekonomik Uygulanabilir Hidroelektrik Potansiyel (TWh/yıl) | Teknik ile Ekonomik Arasındaki Oran |
|------------|---|---|-------------------------------------|
| Avrupa | | | |
| Türkiye | 216 | 130 | 0.60 |
| Norveç | 200 | 187 | 0.94 |
| İsveç | 100 | 85 | 0.85 |
| Fransa | 100 | 70 | 0.70 |
| İtalya | 105 | 65 | 0.62 |
| Avusturya | 75 | 56 | 0.75 |
| İsviçre | 43 | 41 | 0.95 |
| İspanya | 66 | 32 | 0.49 |
| Almanya | 25 | 20 | 0.80 |
| İngiltere | 3 | 1 | 0.33 |
| Dünya | | | |
| Çin | 2474 | 1753 | 0.71 |
| Rusya | 1670 | 852 | 0.51 |
| Brezilya | 1250 | 818 | 0.65 |
| Kanada | 827 | 536 | 0.65 |
| Hindistan | 660 | 442 | 0.67 |
| Amerika | 1339 | 376 | 0.28 |
| Tacikistan | 264 | 264 | 1 |
| Peru | 395 | 260 | 0.66 |
| Kongo | 774 | 145 | 0.19 |
| Venezuela | 261 | 100 | 0.38 |
| Endonezya | 402 | 40 | 0.1 |
| Meksika | 135 | 33 | 0.24 |

Türkiye 2016 yılında hidroelektrik potansiyelinin sadece %31,14'ünü (67,26 TWh) kullanmıştır. Türkiye'de hidroelektrik kurulu gücünün tarihsel gelişimi Tablo 2.4.'de verilmiştir (TEİAŞ, 2022).

Tablo 2.4. Türkiye'nin Kurulu Hidroelektrik Gücünün Tarihsel Gelişimi

| YIL | KANALLI BORU TİPİ(MW) | BARAJ TİPİ(MW) | TOPLAM(MW) |
|------------|-----------------------|----------------|------------|
| 2005 | 938,60 | 11967,40 | 12906,00 |
| 2006 | 1095,80 | 11966,90 | 13062,70 |
| 2007 | 1132,90 | 12262,00 | 13394,90 |
| 2008 | 1405,90 | 12422,80 | 13828,70 |
| 2009 | 1871,70 | 12681,70 | 14553,40 |
| 2010 | 2764,20 | 13067,10 | 15831,30 |
| 2011 | 3607,70 | 13529,30 | 17137,00 |
| 2012 | 4864,80 | 14744,60 | 19609,40 |
| 2013 | 6146,60 | 16142,50 | 22289,10 |
| 2014 | 7036,30 | 16606,90 | 23643,20 |
| 2015 | 6790,60 | 19077,20 | 25867,80 |
| 2016 | 7122,50 | 19558,60 | 26681,10 |
| EYLÜL 2022 | 8293,00 | 23275,20 | 31568,20 |

Türkiye'nin 2005 yılında 12,9 GW olan toplam kurulu hidroelektrik kapasitesi 2016 yılında 26,68 GW'a yükseldi. Türkiye'deki toplam kapasitenin 7,12 GW'ı nehirler üzerine inşa edildi. Geri kalanı barajlardan elde edildi sebebi ise dağların topografik oluşumları küçük hidroelektrik gelişmelerini daha uygun hale getirmektedir.

Türkiye'deki dağ manzarası, 1132 m'lik şaşırtıcı bir yükseklikle Avrupa'ninkinden yaklaşık üç kat daha yüksektir. 06.11.2022 TEİAŞ'tan alınan verilere göre ise kurulu güç 8,293 GW'ı nehirler üzerinden 23,275 GW'ı ise barajlar üzerinden olmak üzere toplam kurulu güç 31,568 GW'a ulaşmıştır (TEİAŞ, 2022).

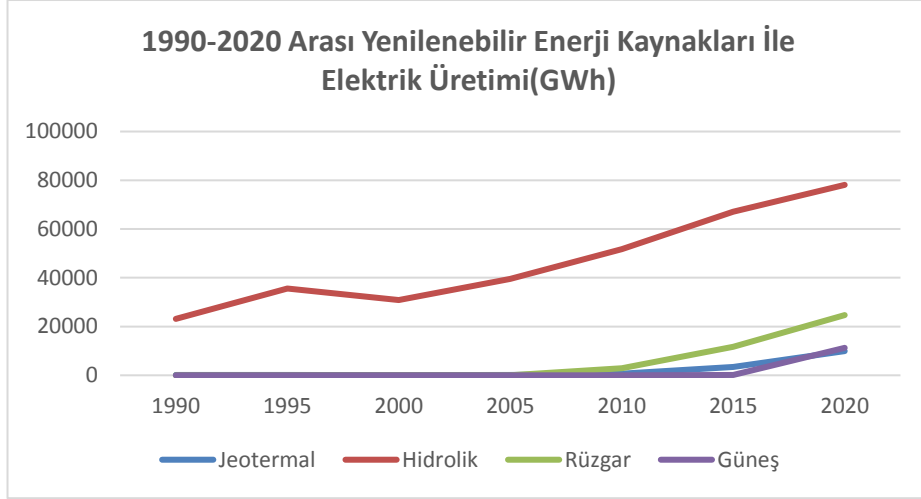
Türkiye'nin enerji ihtiyacının, hükümetin Tablo 2.5.'de açıklanan Vizyon 2023 gündemindeki hedefleri nedeniyle yakın gelecekte artacağı tahmin edilmektedir (Melikoglu, 2013a).

Tablo 2.5. Türkiye'nin Enerji Sektöründe 2023 Hedefleri

| Konu | Hedef |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Kurulu güç | 125000 MW |
| Yenilenebilir enerji kullanımı | 30% |
| Nükleer enerji kullanımı | 10000 MW ve 8 reaktör |
| Yapım aşamasındaki nükleer enerji | 5000 MW ve 4 reaktör |
| Yerli ve ithal kömür enerjisi | 18500 MW |
| Hedeflenen hidroelektrik enerji | 42000 MW |
| Rüzgâr enerjisi | 20000 MW |
| Güneş enerjisi | 3000 MW |
| Jeotermal enerji | 600 MW |

Türkiye'nin yenilenebilir elektrik kapasitesinin 2021-2026 döneminde 26 GW'ın üzerinde veya %53 oranında artması beklenmektedir (Murdock ve ark., 2021).

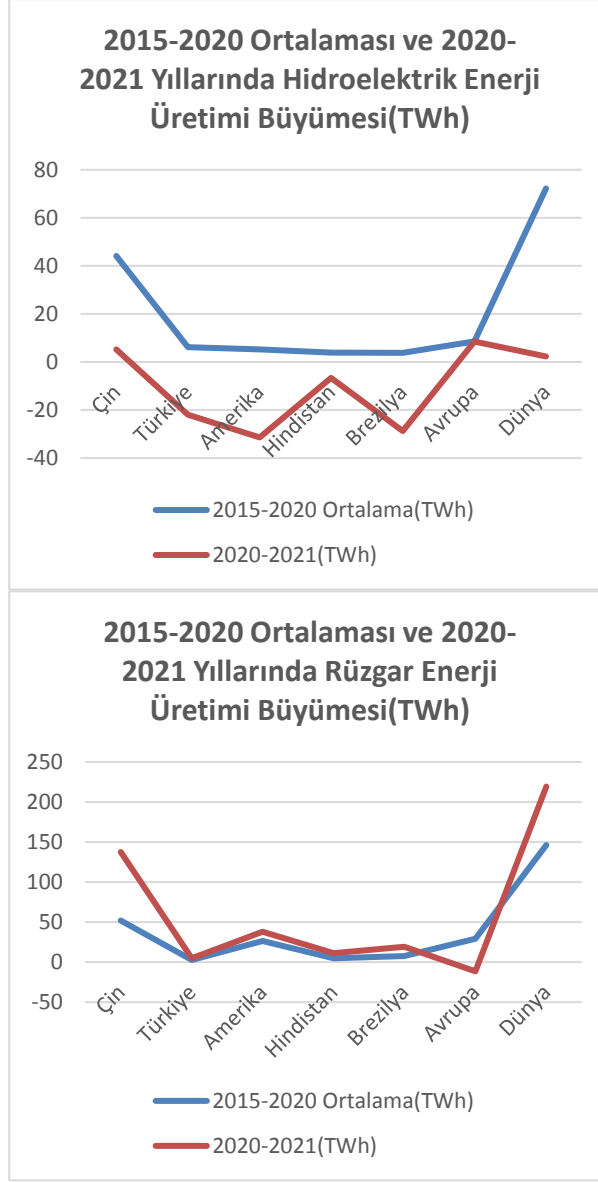
Şekil 2.3.'de 1990-2020 yılları arası yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretiminin detayları paylaşılmıştır (Kaunda ve ark., 2012) .



Şekil 2.3. 1990-2020 Arası Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Elektrik Üretimi (GWh)

Hidroelektrik üretimi 2020'de 124 TWh (+%3) artarak 4418 TWh'ye ulaştı ve en büyük yenilenebilir elektrik kaynağı olarak kalmıştır. Ayrıca tüm yenilenebilir teknolojilerin toplamından daha fazlasını hidroelektrik kaynaklar tarafından üretilmiştir. Ardışık beş yıllık düşüşün ardından, hidroelektrik kapasite ilaveleri 2020'de toparlandığı görülmektedir, Çin ve Türkiye'de birkaç büyük santralin devreye alınması sayesinde 21 GW'a ulaşmıştır. Ancak 2021'de Brezilya, Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve Türkiye'deki şiddetli kuraklık koşulları, küresel hidroelektrik üretimini sınırlandırdı. Hidroelektrik üretiminin 2020'ye kıyasla sabit kalması ve 2001'den bu yana görülen yıllık artışlara son vermesi tahmin edilmektedir (Kaunda ve ark., 2012).

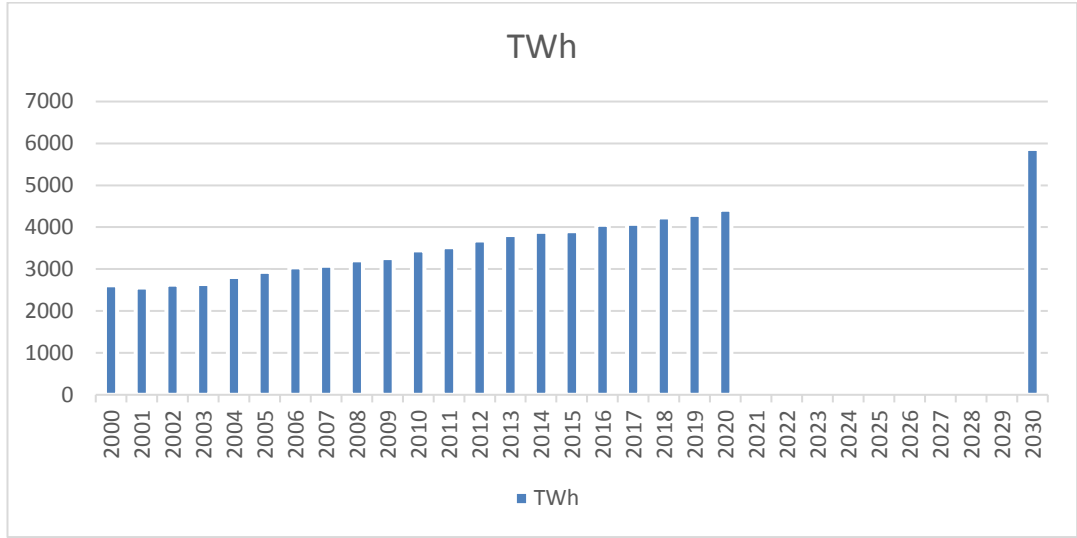
Şekil 2.4.'de hidroelektrik ve rüzgâr enerjisinin 2015-2020 ve 2020-2021 yılları arası gelişimi görsel olarak sunulmuştur (Kaunda ve ark., 2012).



Şekil 2.4. Hidroelektrik ve Rüzgâr Enerjisinin 2015-2020 Ve 2020-2021 Yılları Arası Gelişimi

2050'ye Kadar Net Sıfır Emisyon Senaryosunda, hidroelektrik enerji 2020 ile 2030 arasında yıllık ortalama %3'lük bir üretim büyüme oranını koruyarak yılda 5870 TWh elektrik sağlayacağı tahmin edilmektedir. Bu seviyeyi karşılamak için yıllık ortalama 48 GW'lık yeni kapasitenin şebekeye bağlanması gerekiyor. Çin, Hindistan, Etiyopya ve Güneydoğu Asya'da yapım aşamasında olan birçok büyük proje nedeniyle kapasite ilavelerinin önümüzdeki yıllarda hızlanması beklense de gerekli dağıtımın sağlanması, özellikle izinlerin düzenlenmesi ve proje sürdürülebilirliği için daha fazla çaba gerekmektedir. Küresel hidroelektrik kapasitesinin 2021 ile 2030 yılları arasında %17 artarak 230 GW olması beklenmektedir. Şekil 2.5.'de

hidroelektrik enerji için 2030 yılında beklenen kurulu güç görsel olarak sunulmaktadır (Kaunda ve ark., 2012).



Şekil 2.5. Hidroelektrik Enerji İçin 2030 Yılında Beklenen Kurulu Güç

2.6. Biyoenerji Nedir?

Biyokütle, ana bileşenleri karbonhidrat bileşikler olan tüm bitki ve hayvan organik maddeleridir. Bu kaynaklardan elde edilen enerji, biyokütle enerjisi olarak ifade edilir (Yıldırım, 2020).

Biyoenerji, Paris'in iklim değişikliğinde belirttiği 2°C'nin altında sınırlandırma hedeflerine ulaşmak için birçok senaryoda önemli bir rol oynamaktadır (Rogelj ve ark., 2018).

2.7. Biyoenerji Çeşitleri ve Kullanım Alanları

Biyokütle enerjisinin kullanımı modern ve klasik yöntemler olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Klasik kullanımda bitki, hayvan ve odun atıkları gibi biyokütle malzemelerinin doğrudan yakılmasıyla enerji elde edilmektedir. Bu yöntem özellikle az gelişmiş ülkelerde kullanılmaktadır. Modern kullanımda ise tarımsal ve hayvansal atıklar, enerji ormancılığı, kentsel ve endüstriyel atıklar, enerji bitkileri ürünleri, organik içerikli evsel, orman atıkları, su ile ilgili ekosistemlerde yetişen yosun ve alg gibi biyokütle malzemelerinden dönüşüm yöntemleri ile proses ısısı, elektrik, sıvı ya da gaz yakıt elde etmek mümkündür (Yıldırım, 2020).

Biyoenerji binalarda ve endüstride ısı ihtiyacı için kullanılmaktadır, ancak biyoenerjinin 2023'te elektrik üretiminin %3'ünü ve ulaşım enerjisi talebinin yaklaşık

%4'ünü oluşturması beklenmektedir. Ulaşım için sıvı biyoyakıt üretimi, 2010'dan önce %10'dan fazla yıllık oranlarda büyürken, daha sonra 2010'dan 2016'ya kadar yıllık %4 oranında yavaşlamıştır. Biyoenerji elektrik kapasitesinin yıllık ortalama büyüme oranı 2010'dan 2016'ya %6,5'ti. 2018-2023 döneminde biyoenerjinin (sıvı biyoyakıtlar dahil) yenilenebilir enerji üretimindeki büyümenin %30'unu oluşturacağı tahmin edilmektedir (Florini, 2011).

Biyokütle, çevresel faydaları ve yenilenebilir olması nedeniyle fosil yakıtların yerini kolayca alabilir. Enerji potansiyeli açısından, Türkiye'de biyokütle enerjisi en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Türkiye'de geleneksel biyokütle (odun ve gübre) önemli bir enerji üretim hızına sahiptir. Son zamanlarda ormanlar ve hayvancılıkta görülen azalma ile bu oran da azalmıştır. Geleneksel biyokütle genellikle ticari olmayan yakıt şeklinde kullanılır ve yerli enerji üretiminin dörtte birini karşılar. Geleneksel biyokütleden enerji üretiminin 2020'de 7.530 Btep olması planlanmıştır. Modern biyokütlenin kullanımı ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından önemlidir. Modern biyokütle, 2000 yılında 17 Btep ile başlamıştır. Ancak, gelecekteki üretimine yönelik bir öngörü olmamıştır. Oysa geleneksel biyokütle enerji üretimi giderek azaltılmalı ve modern biyokütle enerji üretimi artırılmalıdır (Bilgen ve ark., 2015).

2.8. Biyoenerji Kaynakları Yenilenebilir Midir?

Türkiye'nin 2015 yılı için tarım sektöründen kaynaklanan sera gazı salınım miktarlarına Tablo 2.6.'da verilmiştir ve dağılımlarına bakıldığında 57,42 milyon CO₂ eşdeğeri bir salıma sahip olduğu görülmektedir (Yıldırım, 2020).

Tablo 2.6. Tarım Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Salınım Miktarı ve Dağılımları

| Kaynak | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | NM VOC | CO ₂ Eşdeğeri |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|--------|--------------------------|
| Enterik Fermantasyon | | 1076 | | | 26888 |
| Tarımsal Atıkların Açıkta Yakılması | | 11 | 0,3 | | 343 |
| Gübre Yönetimi | | 126 | 11 | 200 | 6304 |
| Üre Uygulamaları | 811 | | | | 811 |
| Çeltik Üretimi | | 8 | | | 200 |
| Tarım Toprakları | | | 77 | 220 | 22878 |
| Toplam | 811 | 1220 | 88 | 420 | 57424 |

Çalışmada hayvancılık sektörünün Türkiye'deki sera gazı salınımlarını azaltması hususunda öneminin ortaya koyulması amaçlanmıştır. 2015 yılında enterik fermantasyon ve gübre yönetim sisteminden 33,85 milyon ton karbondioksit eşdeğeri salınım yapıldığı belirtilmiştir. Çalışmada ortaya çıkan toplam hayvan gübresi miktarının anaerobik bir reaktörde kullanılacağı varsayımı ile 8,41 milyar m³, hayvan türüne göre değişen gerçekçi gübre geri kazanım oranlarına dayanılarak yapılan hesaplama ile ise 4,18 milyar m³ biyogaz üretilebileceği hesaplanmıştır. Üretilen bu biyogazın yakılması ile elde edilecek elektrik enerjisi ile de toplam elektrik talebinin %2,3'ünün karşılanabileceği ve yıllık Birleşmiş Milletlere sunulan Türkiye'nin Sera Gazı Envanteri'ne göre gübre yönetiminden kaynaklanan sera gazı salımlarının biyogaz üretimi ile %1,13 oranında azaltılabileceği sonucu çıkarılmıştır (Yıldırım, 2020).

2015 yılında yapılan bir çalışmada ormancılık atıklarının etanol ve biyodizel dönüştürülmesinin iklim değişikliğine etkisi analiz edilmiştir. Bu yöntemde fosil yakıt kaynaklı CO₂ salımları, biyokütle kaynaklı CO₂ salımları ve biyokütle kaynaklı CO₂ salımlarının telafisi ile bunların iklim değişikliğine etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada tomruk artıkları, etanol veya biyodizel üretmek için kullanıldığında, bunların küresel iklim değişikliğine etkilerinin -139,5 ila -488,4 milyon ton CO₂ eşdeğeri arasında olduğu görülmüştür. Bütünleşmiş yöntem kullanıldığında ise CO₂ salımlarındaki azalma 292,7 ila 864,2 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Tomruk kalıntıları kullanımının küresel toplam fosil yakıt kaynaklı sera gazı salımlarının %1,60 ila %4,71'ini dengeleyebileceği değerlendirilmesi yapılmıştır (Yıldırım, 2020).

1990 yılında fosil yakıtların dünya toplam birincil enerji arzındaki payı %82,1'dir. Bu oran yıllar içerisinde önemli oranda değişikliğe uğramamıştır. 2017 yılına bakıldığında tekrar %82,1 paya sahip olduğu görülmektedir. Hatta birincil enerji olarak fosil yakıtların arzı, 2016-2017'de yenilenebilir enerji kaynaklarının arzından daha fazla artmıştır. Bu eğilim 2018 ve 2019'da devam etmiştir. İklim değişikliği, çevre koruma ve fosil yakıtların negatif etkisi konuları dünya gündemindeki önemini artırarak sürdürmesine rağmen, 2020 yılına gelindiğinde fosil yakıtların hâkimiyetini devam ettirdiği görülmektedir. Toplam birincil enerji arzında %49 ile Asya kıtası tüm kıtalar arasında en yüksek orana sahiptir. Amerika kıtaları toplamı %23, Avrupa % 21, Afrika kıtası % 6 ve Okyanusya % 1'dir (Yıldırım, 2020).

Fosil yakıtların küresel kullanımını 1850 yılından beri artmıştır. Bu durumda karbondioksit emisyonlarındaki artışlar da kaçınılmaz olmuştur. Biyokütle, sürdürülebilir enerji ihtiyacı ve sera gazlarının azaltılması nedeniyle potansiyel bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak önem kazanmaktadır (Devi ve ark., 2003). Günümüzde enerji üretiminin ana kaynağı fosil yakıtlardır, ancak biyokütle, fosil yakıtların yerini alma imkanına sahiptir (Link ve ark., 2012). Yenilenebilir enerji kullanımının temel sebepleri olarak karbon emisyonlarının azaltılması, enerji güvenliğinin artırılması ve sonlu fosil yakıt rezervlerine bağımlılığın en aza indirilmesi gösterilebilir (Eaves ve Eaves, 2007).

Orman biyokütlesi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, sera gazı emisyonlarını azaltmak için ilgi odağı olmuştur. Biyoenerji, yenilenebilir enerjiye katkıda bulunmaktadır (Berndes ve ark., 2003; Pogson ve ark., 2013).

Biyokütle, ihmal edilebilir bir kükürt, azot ve kül içeriğine sahiptir. Geleneksel fosil yakıtlara kıyasla daha düşük SO₂, NO_x ve emisyon sağlar. Biyokütleden salınan CO₂, nicel olarak fotosentez yoluyla bitkilere dahil edilirse, sıfır CO₂ emisyonu elde edilebilir (Xu ve ark., 2010).

2.9. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Biyoenerjinin Yeri

Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji piyasasında önemi giderek artmaktadır. Biyoenerji, artan fosil yakıt kullanımıyla ilgili zorlukların üstesinden gelmek için gereken tüm özelliklere sahip bir enerji kaynağıdır. Uygulanabilir ve güvenilir bir yakıt kaynağı imkânı sağlayabilir. Biyoenerji, çeşitli biyokütle hammaddelerinden üretilir (Abbasi ve Abbasi, 2011). Küresel enerji talebinin yaklaşık %13-15'i biyokütleden sağlanmaktadır. Dünya nüfusunun yarısından fazlası ana enerji kaynağı olarak biyokütleyle güvenmektedir (Hall, 1997; Parikka, 2004; Sims, 2001). Bu oran bazı ülkelerde %90'ın üzerindedir (Hall ve House, 1995). Gelişmiş ülkelerde biyoenerji genellikle elektrik veya sıvı enerji şeklinde kullanılmaktadır (Cook ve Beyea, 2000). Biyokütle enerjisinin geliştirilmesindeki hedefler, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için farklıdır. Gelişmiş ülkeler biyoenerjiyi fosil yakıtların yerini almak için kullanırken, gelişmekte olan ülkeler temel geçim amaçlarına hizmet etmek için kullanır (Lu ve ark., 2009). Odunsu biyokütle, ısı, elektrik ve biyoyakıt üretimi için kullanılabilir. Odunsu biyokütle enerjisinin fiyatı, geleneksel fosil yakıtlarla rekabet edebilecek düzeyde değildir. Bununla birlikte, gelecekteki enerji

kullanımı, yenilenebilir enerji ve iklim değişikliği mevzuatının mevcut projeksiyonları, önümüzdeki yıllarda hem orman hem de tarım biyokütle enerjisinin kullanımının artacağı öngörülmektedir (White, 2010).

Türkiye enerji ihtiyacının önemli bir kısmını fosil enerji kaynaklarından sağlamakta bununla birlikte ulusal doğalgaz ve petrol rezervleri bu ihtiyacı karşılayamamaktadır. Öte yandan, Türkiye'deki kömür rezervlerinin büyük bir kısmı, düşük kalorifik değere ve yüksek mineral maddeye sahip olan linyitten oluşmaktadır. Türkiye büyük biyokütle enerji kaynakları potansiyeline sahiptir. Ancak atık biyokütle türlerinin çoğu enerji sağlama amacı güdülerek uygun şekilde değerlendirilememiştir (Rautela ve ark., 2021).

Elektrik üretiminin doğrudan maliyeti, biyokütle yoluyla üretildiğinde fosil yakıtlarinkinden daha pahalıdır. Ancak Türkiye bir hayvancılık ve tarım ülkesi olduğundan, uzun vadede elektrik üretimi için ham petrol ve doğal gazın biyokütle ile yer değiştirmesi potansiyeline sahiptir. 2011 yılında Türkiye'nin ithal ettiği enerjinin maliyetinin 54 milyar ABD dolarının üzerindedir. Bu rakam, Türkiye'nin yıllık ihracatının yaklaşık %40'ının enerji ithalatını finanse etmek için kullanıldığı anlamına gelmektedir (Christiansen ve Basilgan, 2013).

Biyokütle; ısı, buhar, elektrik ve yakıt şeklinde biyoenerji yaratmak için işlenir. Sonuç olarak, biyoenerji, biyoküttele depolanan enerji olarak tanımlanır. Biyokütle kullanımındaki avantajlar olarak yenilenebilir enerji kaynağı, yüksek kalorifik değer, sıfır CO₂ etkisi, atık olarak bulunabilmesi, ucuz olması, düşük kükürt, azot, kül ve eser metal içeriği gösterilebilir. Ancak biyokütle kullanımındaki dezavantajlar da yüksek nem içeriği, düşük yoğunluk ve nakliye maliyetleri, ormansızlaşmaya sebep olması, yüksek oksijen/karbon oranı, hasat edilip kullanılırsa küresel ısınmaya katkıda bulunabilmesi, sürdürülemez olması, partikül emisyonu, öğütülmesi, ezilmesi zor ve mevsimsellik olması gibi şartlar gösterilebilir (Scarlat ve ark., 2015). Biyoenerji, insanlığın en eski enerji kaynaklarından biridir (Zhang ve ark., 2014). Fosil yakıtların endüstriyel ve evsel ısıtma amaçlı kullanımını azaltmak için biyoenerji orman plantasyonları etkili bir sera gazı dengeleme sistemi olabilir. Alternatif bir enerji kaynağı olarak biyokütle bazlı yakıtların olası rolü iyi bilinmektedir ve birçok ülkede hükümet ve özel sektör yatırımcıları için önemli bir konudur. Son zamanlarda fosil yakıt fiyatlarındaki artışlar, biyokütle enerjisi üretimi için hızla büyüyen orman plantasyonlarının kullanımını teşvik etmiştir (Yemshanov

ve McKenney, 2008). Biyoenerji bitkileri kaynakların sürdürülebilir bölgesel yönetimine entegre edilirse, yenilenebilir enerji kaynakları olarak önemli bir rol oynayacaklardır (Pellegrino ve ark., 2011).

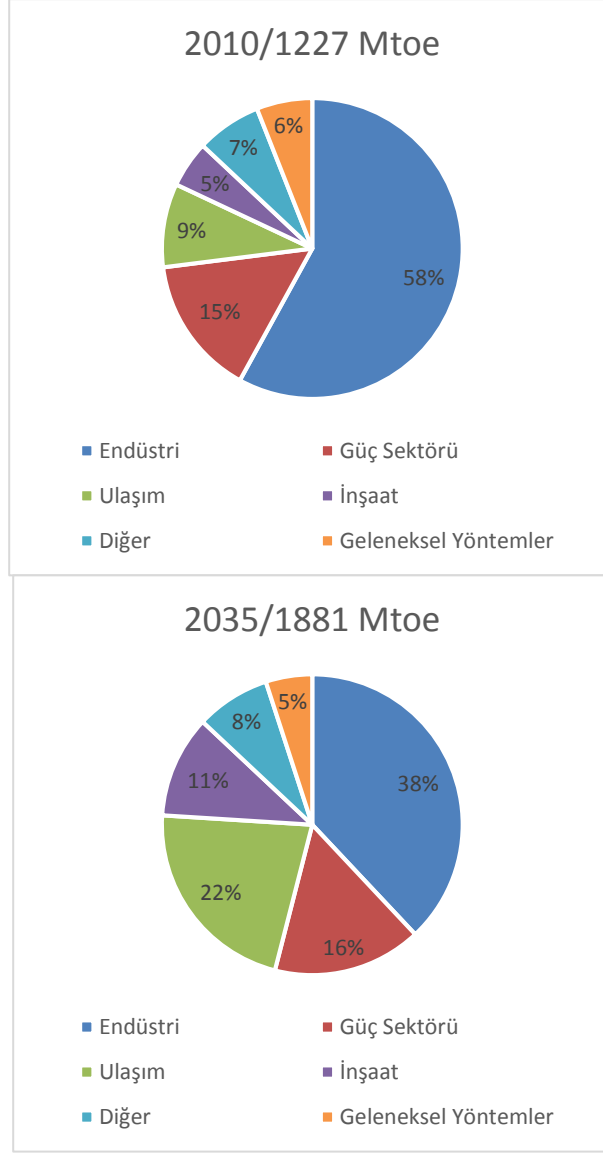
2.10. Dünya Üzerinde Biyoenerji Kullanımı

Amerika Birleşik Devletleri'ndeki 2007 tarihli Enerji Bağımsızlığı ve Güvenliği Yasası, emisyonların azaltılmasının gerekliliğini vurgulamıştır. Biyokütle enerji kaynakları, elektrik, ısıtma, soğutma, biyogaz ve ikinci nesil yakıtların üretimine uygulanabilir. Günümüzün enerji ve çevre sorunlarına sürdürülebilir çözümlere ulaşmak, uzun vadeli planlama ve eylemler gerektirmektedir. Günümüzde enerji tedarigi sorunu oldukça yaygındır ve yenilenebilir enerji kaynakları, etkili bir sürdürülebilir çözümün bir bileşeni olarak görülmektedir. Biyoenerji yerli, yenilenebilir ve sıfır CO₂ emisyonu olduğu için kullanımının gelecekte artacağı tahmin edilmektedir. Biyoyakıtlar, sürdürülebilir enerji stratejilerini destekler ve fosil yakıt ithalatına olan bağımlılığı azaltır. Biyoenerji, dünyanın üç büyük sorunu olan enerji güvenliği, iklim değişikliği ve yoksulluğun azaltılması için iyi bir seçenektir. Finlandiya, İsveç ve Avusturya gibi ülkeler biyoenerjiyi teşvik etmek için destekleyici politikalar ve önlemler almıştır. Finlandiya, modern biyoenerji kullanımında önde gelen Avrupa ülkelerinden biridir. Biyoenerji, 2008'de Finlandiya'da birincil enerji tüketiminin %21'ini oluşturuyordu (Halder ve ark., 2010).

Biyoenerji, yeşil bitkiler, çimenler ve algler gibi fotosentetik organizmalardan üretilen enerjiyi ifade eder (Ndimba ve ark., 2013). Biyoenerjiden elde edilen biyokütle, son zamanlarda büyük ilgi görmüştür ve özellikle ulaşım yakıtı için önde gelen bir aday olarak kabul edilmektedir (Khanal ve ark., 2010). Biyoenerji şu anda ulaşım yakıtları sağlayabilen tek yenilenebilir enerji kaynağıdır. ABD, Brezilya ve birkaç Avrupa ülkesi sıvı biyoyakıt üretti. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, biyoenerji 2005 yılında dünyanın birincil enerji arzının %10'unu ve küresel olarak tüm yenilenebilir enerjilerin %78'ini oluşturuyordu (Florini, 2011). Biyoenerji, birçok gelişmekte olan ülkede enerji arzının %80'ini ve çoğu sanayileşmiş ülkede enerji arzını %5'ini oluşturmaktadır (McCormick ve World Conservation Union., 2008). Biyoenerji kullanımı, fosil yakıtların yerini alarak iklim değişikliğinin hafifletilmesine katkıda bulunacaktır. Ayrıca dünya enerji sisteminde sera gazı

emisyonlarının azaltılmasına faydalı olacaktır. Kullanımının artmasıyla enerji yoksulluğunun üstesinden gelmeye de yardımcı olacaktır (Manhart ve ark., 2008). Ticari olmayan biyokütlenin pişirme ve ısıtmada geleneksel kullanımı uygun değildir çünkü gübre ve odunsu biyokütlenin sürekli kullanımı yerel toprakları gerekli besinlerden yoksun bırakacak, iç ve dış hava kirliliğine ayrıca sağlıkta bozulmaya neden olacaktır. Yakacak odun için hasat edilen ağaçların yenilenmemesi sera gazı emisyonlarına da katkıda bulunabilir ve bu da doğal ekosistemleri etkileyebilir (Luijten, 2005).

2010 ve 2035 yılları arasındaki yeni politikalar ile birlikte geleneksel biyokütle dışındaki biyoenerjiye yönelik küresel birincil enerji talebi, yılda ortalama %3,3 oranında büyüyecektir. 2010'da 526 Mtoe'den 2035'e kadar yaklaşık 1200 Mtoe'ye yükselmesi beklenmektedir. Sanayi sektörü, 196 Mtoe ile 2010'da en büyük biyoenerji tüketicisidir ve 2035'te 300 Mtoe'nin üzerine çıkması beklenmektedir. Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi enerji sektörü biyoenerji kullanımında daha büyük bir payı oluşturmaktadır (Florini, 2011).



Şekil 2.6. 2010 ve 2035 senaryosuna göre enerji sektöründe Biyoenerjinin payı

Türkiye'nin yerli petrol ve linyit rezervleri sınırlıdır. Artan enerji tüketimi, çevre kirliliğini ülkede önemli bir sorun haline getirmektedir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynakları çevre kirliliğini önlemede en etkili çözümlerden biri olarak görünmektedir (Ocak ve ark., 2004). Türkiye'de yakıt ve elektrik için yeterli yenilenebilir enerji potansiyeli bulunmaktadır (Keleş ve Bilgen, 2012). Özellikle biyokütle hükümetler ve özel sektör tarafından ciddi şekilde desteklenmelidir. Doğal kaynaklar ve tarımsal ekonomik altyapı göz önüne alındığında, Türkiye biyokütlede önemli bir potansiyel oluşturmaktadır (Kaygusuz ve Bilgen, 2008).

2030 yılına kadar dünyada enerji tüketiminin %40 oranında artacağı ve önemli ölçüde bulunduğumuz bölgedeki kaynaklardan karşılanacağı öngörülmektedir (Tükenmez ve Demireli, 2012). Yenilenebilir enerji kaynaklarında temel amaç,

elektrik enerjisi üretiminde bu kaynakların %30'luk payının sağlanmasıdır. Bu da yılda 160.000 GWh elektrik tedariki anlamına gelmektedir (Tükenmez ve Demireli, 2012). Tablo 2.7.'de kaynak türleri itibariyle dünya birincil enerji arzı verilmiştir.

Tablo 2.7. Kaynak Türleri İtibariyle Dünya Birincil Enerji Arzı (MTEP)

| Yıl | Toplam (MTEP) | Petrol (MTEP) | Kömür (MTEP) | Doğalgaz (MTEP) | Nükleer (MTEP) | Hidrolik (MTEP) | Güneş, Rüzgâr (MTEP) | Biyoyakıt ve Atık (MTEP) |
|-------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| 1990 | 8765 | 3233 | 2220 | 1664 | 526 | 184 | 37 | 902 |
| 1995 | 9217 | 3373 | 2207 | 1808 | 608 | 213 | 42 | 965 |
| 2000 | 10024 | 3663 | 2317 | 2072 | 675 | 225 | 60 | 1012 |
| 2005 | 11479 | 3999 | 2994 | 2361 | 722 | 252 | 70 | 1082 |
| 2010 | 12849 | 4136 | 3653 | 2733 | 719 | 296 | 110 | 1202 |
| 2015 | 13628 | 4329 | 3853 | 2950 | 670 | 336 | 204 | 1286 |
| 2017 | 13971 | 4450 | 3790 | 3107 | 687 | 351 | 257 | 1329 |
| 2018 | 14314 | 4501 | 3821 | 3273 | 709 | 361 | 293 | 1357 |

Tablo 2.8.'de görüldüğü gibi dünyada toplam enerji kaynakları kullanımında yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %12'lerde seyretmekte iken son yıllarda artış eğilimi göstermektedir (Yıldırım, 2020).

Tablo 2.8. Dünya Birincil Enerji Kaynakları Kullanımında Paylar

| Yıl | Toplam (MTEP) | Petrol (%) | Kömür (%) | Doğalgaz (%) | Fosil Yakıt (%) | Nükleer (%) | Yenilenebilir (%) | Biyokütle/ Yenilenebilir (%) |
|------|---------------|------------|-----------|--------------|-----------------|-------------|-------------------|------------------------------|
| 1990 | 8765 | 36,9 | 25,3 | 19 | 81,2 | 6 | 12,8 | 80,4 |
| 1995 | 9217 | 36,6 | 23,9 | 19,6 | 80,2 | 6,6 | 13,2 | 79,1 |
| 2000 | 10024 | 36,5 | 23,1 | 20,7 | 80,3 | 6,7 | 12,9 | 78 |
| 2005 | 11479 | 34,8 | 26,1 | 20,6 | 81,5 | 6,3 | 12,2 | 77 |
| 2010 | 12849 | 32,2 | 28,4 | 21,3 | 81,9 | 5,6 | 12,5 | 74,7 |
| 2015 | 13628 | 31,8 | 28,3 | 21,6 | 81,7 | 4,9 | 13,4 | 70,4 |
| 2017 | 13971 | 31,8 | 27,1 | 22,2 | 81,2 | 4,9 | 13,9 | 68,6 |
| 2018 | 14314 | 31,4 | 26,7 | 22,9 | 81 | 5 | 14 | 67,5 |

1990 yılından 2018 yılına kadar Türkiye’de birincil enerji kaynaklarının kullanımı 2,8 katı artmıştır (Tablo 2.9.). Bu artış dünya genelinde %60 seviyelerindedir. Türkiye’de fosil kaynakların birincil enerji arzındaki payı %86,6’dır ve bu oran ile Türkiye dünya ortalamasının da üstünde kalmaktadır (Yıldırım, 2020).

Türkiye’de 1990 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji talebindeki payı %18,8 iken, 2000 yılında %13,3’e, 2010 yılında ise % 11,1 seviyelerine gelmiştir. 2018 yılına gelindiğinde %13,4 ile 2000 yılındaki orana tekrar ulaşmıştır. Bu oran sonraki senelerde artma eğilimindedir (Tablo 2.10.) (Yıldırım, 2020).

Tablo 2.9. Kaynak Türleri İtibariyle Türkiye Birincil Enerji Arzı (MTEP)

| Yıl | Toplam (MTEP) | Petrol (MTEP) | Kömür (MTEP) | Doğalgaz (MTEP) | Nükleer (MTEP) | Hidrolik (MTEP) | Güneş, Rüzgâr (MTEP) | Biyoyakıt ve Atık (MTEP) |
|------|---------------|---------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| 1990 | 51,5 | 23,4 | 15,58 | 2,86 | 0 | 1,99 | 0,46 | 7,21 |
| 1995 | 60,96 | 28,43 | 15,97 | 5,79 | 0 | 3,06 | 0,65 | 7,07 |
| 2000 | 76 | 30,4 | 22,83 | 12,64 | 0 | 2,66 | 0,97 | 6,5 |
| 2005 | 84,09 | 28,75 | 22,39 | 22,79 | 0 | 3,4 | 1,43 | 5,34 |
| 2010 | 105,79 | 31,51 | 31,21 | 31,4 | 0 | 4,45 | 2,69 | 4,53 |
| 2015 | 128,48 | 38,7 | 34,51 | 39,38 | 0 | 5,77 | 6,89 | 3,22 |
| 2018 | 145,94 | 42 | 43,27 | 41,1 | 0 | 5,14 | 11,4 | 3,04 |

Tablo 2.10. Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Kullanımında Paylar

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

2.11. Biyoenerjinin Ekonomik Katkısı

Biyokütle enerjisi ekonomik büyüme için de teşviklidir. Pahalı dönüştürme cihazlarına ihtiyaç duymadığından gelişmekte olan ülkelerde yoksulluğun azaltılmasına katkıda bulunur (Bildirici, 2013). Toplam enerjiye kıyasla orman biyokütlesi tüketimi, sıvılaştırılmış petrol gazlarının (LPG) tüketiminin sürekli artması nedeniyle son on yılda %22'den %14'e biraz düşmüştür (Spitzer, 1998). Evsel enerji tüketimi, tüm enerji tüketiminin %37'sini oluşturur ve yaklaşık %45'i biyokütle bazlı yakıtlardır (Süme ve Subutay Fırat, 2020). Kırsal alanlarda geleneksel yakıtlar baskındır; Biyokütle enerjisinin neredeyse tamamı kırsal kesimde yaşayanların temizlik, ısınma ve yemek pişirme ihtiyaçlarının karşılanmasından ev sektöründe tüketilmektedir (Kaygusuz, 2009).

Biyokütle (ahşap, tarımsal kalıntılar ve benzerlerini içerir) yaygın olarak bulunur. Dünyanın üçüncü büyük enerji kaynağıdır biyokütledir. Gelişmekte olan çoğu ülkede geniş tarım ve orman alanlarına bulunduğundan tüketilen biyokütle enerjisinin oranı %40 ile %50 arasında değişmektedir (Bilgen, 2014). Biyokütle, Türkiye'nin kırsal kesiminde temel enerji kaynağıdır. Evlerin ısıtılması, elektrik üretimi, araçların yakıt ikmali ve endüstriyel tesisler için proses ısısının sağlanmasında kullanılmaktadır (Saracoglu, 2010).

Türkiye'nin yıllık biyokütle potansiyeli yaklaşık 33 Mtep veya 384 GWh'dir. Toplam geri kazanılabilir biyoenerji potansiyelinin 2008 yılı için Tablo 2.11.'de gösterildiği gibi yaklaşık 17 Mtep veya 198 GWh olduğu tahmin edilmektedir (İlkiliç, 2012).

Tablo 2.11. Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Kullanımında Paylar

| Biyokütle | Yıllık Potansiyel (Milyon ton) | Enerji Karşılığı (Mtoe) |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Ekinler | 70 | 20 |
| Orman kalıntıları | 20 | 5,4 |
| Tarım endüstrisi kalıntıları | 10 | 3 |
| Kereste endüstrisi kalıntıları | 5 | 1,6 |
| Hayvansal Atıklar | 6 | 1,4 |
| Diğerleri | 9 | 1,6 |
| Toplam | 120 | 33 |

2.12. Biyokütle Enerjisinin Elektrik Enerjisi Üretimindeki Yeri

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin elektrik üretimine dahil edilmesi CO₂ emisyonlarını azaltmada etkili bir yöntem olmuştur. Ancak elektrik üretiminin dünya birincil enerji arzı içinde payı %16'dır (Yıldırım, 2020).

2000 yılından 2019 yılına gelindiğinde Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrikte 10.202 TWh'lik (877 milyon TEP) artış olmuş ve yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki payı % 19'dan % 25'e ulaşmıştır. Elektrik üretimindeki artışın en büyüğü hidroelektrik enerjiden sağlanmıştır (Yıldırım, 2020).

Son 17 yıla bakıldığında güneş ve rüzgâr enerjisinden elektrik üretimleri sırasıyla 300 ve 36 kat gibi oldukça yüksek hızlarda artarken, biyokütlenin sadece 4 kat arttığı görülmüştür. 2018 yılında, biyokütle tabanlı kaynaklardan, biyoyakıt ve atıklar başta olmak üzere, üretilen 596 TWh (51 milyon TEP) elektrik enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik ve rüzgâr enerjisinden sonra biyoenerji kaynaklarının üçüncü durumunda olduğunu göstermektedir. Tablo 2.12.'de kaynaklara göre küresel elektrik üretimi verilmiştir (Yıldırım, 2020).

Tablo 2.12. Kaynaklara Göre Küresel Elektrik Üretimi

| Yıl | Toplam (MTEP) | Petrol (MTEP) | Kömür (MTEP) | Doğalgaz (MTEP) | Nükleer (MTEP) | Diğer Kaynaklar (MTEP) | Yenilenebilir | |
|------|------------------|------------------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------------------|---------------|---------|
| | | | | | | | (MTEP) | Payı(%) |
| 1990 | 1023,24 | 113,91 | 380,87 | 150,5 | 173,08 | 1,71 | 203,17 | 19,86 |
| 1995 | 1146,15 | 106,26 | 429,27 | 173,71 | 200,51 | 2,05 | 234,34 | 20,45 |
| 2000 | 1334,38 | 103,76 | 515,43 | 237,29 | 222,75 | 1,9 | 253,24 | 18,98 |
| 2005 | 1580,21 | 97,62 | 629,55 | 318,5 | 238 | 2,86 | 293,68 | 18,58 |
| 2010 | 1858,66 | 84,04 | 745,16 | 416,06 | 237 | 2,92 | 373,49 | 20,09 |
| 2015 | 2098,09 | 83,91 | 821,45 | 479,47 | 221 | 3,07 | 489,19 | 23,32 |
| 2018 | 2287,45 | 69,48 | 870,42 | 526,05 | 233,71 | 3,18 | 584,61 | 25,56 |

Tablo 2.13. Dünyada Enerji Türlerine Göre Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimi

| Yıl | Hidrolik (GWh) | Jeotermal (GWh) | Biyoyakıt (GWh) | Rüzgâr (GWh) | Atık (GWh) | Güneş PV (GWh) | Güneş Termal (GWh) | Dalga (GWh) |
|------|----------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|----------------|--------------------|-------------|
| 1990 | 2191675 | 36426 | 105479 | 3880 | 24142 | 91 | 663 | 536 |
| 1995 | 2545965 | 39895 | 95247 | 7959 | 34768 | 197 | 824 | 547 |
| 2000 | 2695854 | 51989 | 114407 | 31348 | 49543 | 994 | 526 | 546 |
| 2005 | 3019502 | 58284 | 170875 | 103922 | 57821 | 3929 | 597 | 516 |
| 2010 | 3530272 | 68106 | 280559 | 341384 | 89029 | 32222 | 1645 | 513 |
| 2015 | 3989825 | 80562 | 417802 | 838314 | 101561 | 250574 | 9605 | 1006 |
| 2018 | 4203000 | 90000 | 636000 | 1265000 | Biyoyakıt dahil | 592000 | 12000 | 1000 |

2017 yılı ile bir önceki yıl kıyaslandığında Dünya genelinde biyokütleden enerji üretiminde 25.000 GWh (2,15 milyon TEP, % 4) artış ile toplamda 595.616 GWh (51 milyon TEP) elektrik enerjisi üretilmiştir. 2000-2017 yıllarına bakıldığında biyokütleden elde edilen elektrik enerjisi üretimi 3,6 kat arttığı görülmüştür. Biyokütleden elektrik enerjisi üretiminin %65'i odun yongaları, odun peletleri gibi birincil katı biyoyakıtlardan, sadece büyük ölçekli elektrik ve kojenerasyon (kombine ısı/enerji) santrallerinde elde edilmiştir. Bu üretimde biyogaz %14, belediye ve endüstriyel atıkların oranı %19 pay oluşturmuştur. Biyokütle güç üretiminde sıvı biyoyakıtlar üretimin küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Ancak biyoyakıtlar elektrik enerjisi üretiminin yanı sıra ulaşım sektörünün ihtiyaçlarını karşılamakta ideal alternatif kaynak olma özelliğini göstermektedirler (Yıldırım, 2020).

Tablo 2.14. Dünya Elektrik Üretiminde Yenilenebilir ve Biyokütle Enerjileri Payı

| Yıl | Yenilenebilir Toplam (%) | Biyokütle/Yenilenebilir (%) | Biyokütle/Toplam (%) |
|------|--------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1990 | 19,86 | 5,49 | 1,09 |
| 1995 | 20,45 | 4,77 | 0,98 |
| 2000 | 18,98 | 5,57 | 1,06 |
| 2005 | 18,58 | 6,7 | 1,24 |
| 2010 | 20,09 | 8,51 | 1,71 |
| 2015 | 23,32 | 9,13 | 2,13 |
| 2018 | 25,56 | 9,35 | 2,39 |

2018 yılında Türkiye'nin elektrik üretimi 303.625 GWh (26 milyon TEP) olup, bunun %32'si yenilenebilir enerji kaynaklarından ve %68'i fosil kaynaklardan üretilmiştir. Yenilenebilir enerji içinde biyokütlenin payı %2,75 ve toplam elektrik

üretimi içindeki payı %0,88 olarak düşük seviyelerde kalmıştır (Tablo 2.15. ve 2.16.) (Yıldırım, 2020).

Tablo 2.15. Türkiyede Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi

| Yıl | Toplam (GWh) | Fosil (GWh) | Diğer (GWh) | Yenilenebilir (GWh) | Hidro (GWh) | Jeotermal (GWh) | Solar PV (GWh) | Rüzgar (GWh) | Biyokütle +Atık (GWh) |
|------|-----------------|----------------|----------------|------------------------|----------------|--------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1990 | 57543 | 34315 | 0 | 23228 | 23148 | 80 | 0 | 0 | 0 |
| 1995 | 86247 | 50398 | 0 | 35849 | 35541 | 86 | 0 | 0 | 222 |
| 2000 | 124922 | 93714 | 46 | 31162 | 30879 | 76 | 0 | 33 | 174 |
| 2005 | 161956 | 122120 | 78 | 39758 | 39561 | 94 | 0 | 59 | 44 |
| 2010 | 211208 | 155371 | 111 | 55726 | 51796 | 668 | 0 | 2916 | 346 |
| 2015 | 261783 | 177608 | 495 | 83680 | 67146 | 3425 | 194 | 11652 | 1263 |
| 2018 | 304802 | 206061 | 934 | 97777 | 59938 | 7431 | 7798 | 19949 | 2659 |

Tablo 2.16. Türkiyede Kaynaklara Göre Elektrik Üretimi Oranları

| Yıl | Toplam (GWh) | Fosil (GWh) | Yenilenebilir /Toplam (%) | Yenilenebilir (GWh) | Fosil/Toplam (%) | Biyokütle/ Yenilenebilir (%) | Biyokütle/ Toplam (%) |
|------|-----------------|----------------|---------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 1990 | 57543 | 34315 | 40,37 | 23228 | 59,63 | 0 | 0 |
| 1995 | 86247 | 50398 | 41,57 | 35849 | 58,43 | 0,62 | 0,26 |
| 2000 | 124922 | 93714 | 24,95 | 31162 | 75,02 | 0,56 | 0,14 |
| 2005 | 161956 | 122120 | 24,55 | 39758 | 75,4 | 0,11 | 0,03 |
| 2010 | 211208 | 155371 | 26,38 | 55726 | 73,56 | 0,62 | 0,16 |
| 2015 | 261783 | 177608 | 31,97 | 83680 | 67,85 | 1,51 | 0,48 |
| 2018 | 304802 | 206061 | 32,08 | 97777 | 67,6 | 2,72 | 0,87 |

ETKB Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün 2020 yılı Ocak ayı özet raporuna göre, Türkiye'de 2019 yılı Ocak ayı sonu toplam kurulu güç 88.894 MW iken, 2020 yılı Ocak ayı sonunda kurulu güç 91.342 MW değerine ulaşmıştır. Yenilenebilir enerjinin toplam kurulu güç içerisindeki payı, hidroelektrik enerji sistemden çıkarıldığında %17,88'dir. Sadece biyokütlenin toplam elektrik enerjisi üretimindeki payı yaklaşık %1 iken bu oran biyokütlenin atık ısı ve jeotermal ile beraber kullanımında % 2,95'e ulaştığı görülmüştür (Yıldırım, 2020).

Türkiye nüfus olarak Almanya nüfusuna neredeyse eşit, yüz ölçüm olarak ise yaklaşık iki katı büyüklüğünde bir ülkedir. Biyokütle potansiyeli kabaca hesap edilirse Almanya'nınki ile aynı düzeyde olması beklenmektedir. İki ülkenin biyokütleden elektrik üretimi mukayese edildiğinde Almanya 52.187 GWh (4,4 milyon TEP) ile Türkiye'ye göre yaklaşık 20 katı daha fazla elektrik enerjisi üretmektedir (Tablo 2.17.) (Yıldırım, 2020).

Tablo 2.17. Biyokütle Kaynaklarına Göre Almanya-Türkiye Elektrik Üretimi Karşılaştırması

| YIL | Türkiye | | | | | Almanya | | | | | |
|------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|
| | Toplam (GWh) | Endüstriyel Atıklar (GWh) | Birincil Katı Yakıt (GWh) | Biyogaz (GWh) | Sıvı Biyo Yakıt (GWh) | Toplam (GWh) | Endüstriyel Atıklar (GWh) | Birincil Katı Yakıt (GWh) | Biyogaz (GWh) | Belediye Atıkları (GWh) | Sıvı Biyo Yakıt (GWh) |
| 1991 | 38 | | 38 | | | 3968 | 2373 | 129 | 247 | 1219 | |
| 1995 | 222 | | 222 | | | 6348 | 3915 | 496 | 589 | 1348 | |
| 2000 | 174 | 8 | 145 | 21 | | 8277 | 3946 | 804 | 1683 | 1844 | |
| 2005 | 44 | 10 | 5 | 29 | | 17131 | 2775 | 7127 | 3862 | 3252 | 115 |
| 2010 | 346 | 14 | 36 | 296 | | 35911 | 1605 | 10768 | 17430 | 4747 | 1361 |
| 2015 | 1263 | 22 | 32 | 1208 | 1 | 51611 | 1288 | 11034 | 33073 | 5768 | 448 |
| 2017 | 2658 | 23 | 474 | 2158 | 3 | 52187 | 928 | 10721 | 33943 | 6158 | 437 |

Elektrik üretimi için gazlaştırmaya ek olarak, atık biyokütlenin doğrudan yakılmasını kullanan tesisler de bulunmaktadır. TEİAŞ'ın 2018 yıl sonu verilerine göre biyokütle, biyogaz, pirolitik yağ ve atık ısı enerji santrallerinin kurulu gücü 819 MW olup 3623 GWh elektrik enerjisi üretilmiştir. 2019 yıl sonunda ise toplam kurulu güç 1.163 MW olup 4.524 GWh elektrik enerjisi üretilmiştir. EPDK verilerine göre 2019 yılı sonunda toplam 318 MW kapasitede biyoenerji santral inşası devam etmektedir (Kotciolu, 2011).

Sürdürülebilir ve yenilenebilir bir kaynak olan biyokütleden elektrik üretimi, fosil yakıtlara olan talebi azaltmak için önemli bir alternatiftir. Biyokütle, pelet ve talaş gibi katı yakıt, biyogaz gibi gaz yakıt ve biyodizel, biyoetanol gibi sıvı yakıt olarak elde edilebildiğinden, parçalanabilirlik ve depolama kolaylığı gibi avantajlar sunmaktadır. Öte yandan, sadece elektrik üretimine katkı sağlayan diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre fosil kaynakların yerini alacak çok daha güçlü bir alternatif oluşturabileceği düşünülmektedir (Kotciolu, 2011).

Tablo 2.18. ve 2.19.'de görüldüğü gibi, 2007 ve 2020 yılları arasında üretilen biyokütlenin tamamı Türkiye'de tüketilmektedir (Kotciolu, 2011).

Tablo 2.18. Türkiye'nin enerji tüketimi (Mtoe)

| Enerji Kaynakları | 2007 | 2010 | 2020 |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| Kömür ve Linyit | 36,46 | 39,7 | 107,57 |
| Yakıt | 35,6 | 51,17 | 71,89 |
| Gaz | 26,4 | 49,58 | 74,51 |
| Nükleer | - | - | 6,6 |
| Hidrolik | 3,86 | 5,34 | 10 |
| Jeotermal | 0,7 | 0,97 | 1,71 |
| Odunsal Atık ve Biyokütle | 5,27 | 5,12 | 4,96 |
| Güneş/Rüzgâr/Diğerleri | 0,44 | 1,05 | 2,27 |
| Toplam Tüketim | 107,61 | 152,93 | 280,51 |

Tablo 2.19. Türkiye'nin enerji üretimi (Mtoe)

| Enerji Kaynakları | 2007 | 2010 | 2020 |
|---------------------------|-------|-------|-------|
| Kömür ve Linyit | 14,5 | 26,15 | 32,36 |
| Yakıt | 2,48 | 1,13 | 0,49 |
| Gaz | 0,94 | 0,17 | 0,14 |
| Nükleer | - | - | 7,3 |
| Hidrolik | 3,86 | 5,34 | 10 |
| Jeotermal | 0,7 | 0,98 | 1,71 |
| Odunsal Atık ve Biyokütle | 5,27 | 5,12 | 4,96 |
| Güneş/Rüzgâr/Diğerleri | 0,42 | 1,05 | 2,27 |
| Toplam Üretim | 28,17 | 39,94 | 59,23 |

Kullanılabilir biyokütleden elektrik üretiminin kişisel ve kurumsal gelirden 4,4 milyar USD net etkisi vardır (Saracoglu, 2010).

Türkiye'de biyokütle üretimi odun, odunsu maddeler, buğday samanı, koza kabuğu, tahıl tozu, fındık kabuğu, mahsul artıkları ve meyve ağacı artıklarına dayanmaktadır (Melikoglu, 2013b). Büyük hacimlerde kullanılmayan kalıntı ve atıklardan yararlanarak biyokütle kullanımını genişletmek için önemli bir potansiyel vardır. Sürdürülebilirlik kısıtlamalarını hesaba katan çoğu biyokütle tedarik senaryosu, 200 ile 500 EJ arasında bir yıllık potansiyele işaret etse de bu çeşitli hammadde yelpazesine dayanarak, biyokütle için teknik potansiyel 2030 itibarıyla yaklaşık 1300 EJ/yıl'dır (Kotciolu, 2011). Türkiye'de yılda yaklaşık 3.4×10^7 ton buğday samanı üretilmektedir (Demirbas ve ark., 2006). Saman ya yakılarak ya da bazen tekrar toprağa sürülerek tarlalara atılır. Samanın daha yüksek ısıl değeri, yüksek dereceli kömürün yaklaşık 1/2'si olduğundan (yüksek ısıl değeri yaklaşık 28 MJ/kg'dır), fazla saman yaklaşık 2.1×10^7 tona eşittir (Balat, 2008). Fındık kabuğu ve fındık çotanağı potansiyel olarak önemli enerji kaynaklarıdır (Kar ve Keles, 2013). Türkiye'de yıllık fındık kabuğu üretiminin 3.5×10^5 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Fındık

kabuğunun ısı değeri 19.2 MJ/kg'dır ve kalorifik değeri yaklaşık 1.9×10^6 kWh'ye eşittir (Balat, 2008). Klasik biyokütle, geleneksel kaynaklardan ve yöntemlerden elde edilir. Modern biyokütle, yenilenebilir kaynaklardan sürdürülebilir bir şekilde elde edilir. Orman biyokütlesi tüketimi, sıvılaştırılmış petrol gazlarının (LPG) tüketiminin sürekli artması nedeniyle son on yılda %22'den %14'e düşmüştür (Kaygusuz, 2010).

Pamuk, keten, susam ve haşhaş gibi sanayi ürünleri Türkiye'de uzun süredir yetiştirilmektedir. Soya fasulyesi Akdeniz bölgesinde yetiştirilir (Demirbas, 2008). Türkiye'deki biyogaz üretim potansiyeli 1,5–2 Mtep olarak tahmin edilmiştir, yalnızca iki küçük ünite (toplam 5 MW) faaliyettedir ve bir yeni tesis (1 MW) lisanslanmıştır (Erdem, 2010). Yenilenebilir enerjinin enerji üretimindeki payı çok düşük olduğu için biyogazın bu paya olası katkısı da göz ardı edilebilir. Pilot ölçekli tesislerin kullanıldığı ön araştırma faaliyetleri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından yaklaşık otuz yıl önce başlatılmıştır (İlkiliç, 2012). Bu ön araştırmalar, yalnızca hayvan gübresinden biyogaz üretimini kapsıyordu. Ancak 1987 yılında bu faaliyetler bir şekilde sonlandırılmıştır. Ayrıca tarımsal kalıntılardan ve/veya enerji bitkilerinden biyogaz üretimi konusunda herhangi bir araştırma faaliyetine rastlanmamıştır.

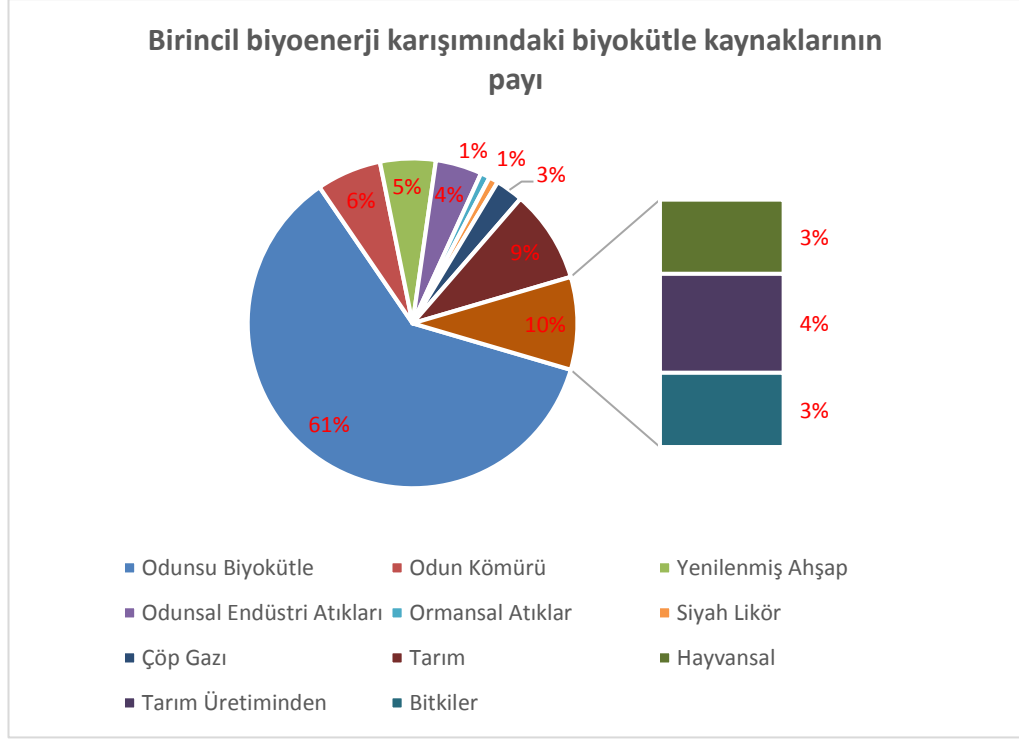
Hayvansal gübrenin anaerobik fermantasyon ürünü olan biyogaz, gübrenin tamamının biyogaz üretimi için kullanılması şartıyla yılda 2,2 ile 3,9 milyar m³ arasında, 1-2 milyon tona tekabül eden bir potansiyele sahiptir (Demirel ve ark., 2010). Toplam biyogaz varlığının yaklaşık %85'ini hayvan gübresi oluştururken kalanı da çöp gazından üretimi sağlanmaktadır. Öte yandan, farklı biyokütle türlerinden biyogaz üretimi, CO₂ emisyonlarını azaltmak ve dolayısıyla çevreyi korumak için büyük bir fırsat sunmaktadır. Biyogazın üretimi ve dönüştürülmesine yönelik mevzuat prosedürleri özel olarak belirlendiği ve uygulandığı sürece, Türkiye teorik olarak biyokütle kaynaklarından biyogaz üretme kapasitesine sahiptir (Gokcol ve ark., 2009a). Özellikle kırsal alanlarda karşılaşılabilecek teknolojik ve altyapısal kısıtlamalar hem devlet kurumlarının hem de özel sektörün birlikte katılımıyla aşılabilir (Demirbas, 2008). Ayrıca biyogaz teknolojisinin Türkiye'deki uygulamaları konusunda ülke şartlarına göre daha fazla araştırma yapılması gerektiği de aşikardır. Bu tür araştırma faaliyetleri muhtemelen enerji politika yapımcıları için daha verimli çabalarla sonuçlanacaktır, böylece Türkiye enerji karışımını çeşitlendirmeyi

hızlandırabilir ve yakın gelecekte birincil enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırabilir (Demirel ve ark., 2010).

Enerji için mevcut olan biyokütle, güç (elektrik) ve ısı (kömür ve üretici gaz) gibi nihai enerji türlerine dönüştürülebilir (Gokcol ve ark., 2009). Bunlardan elektrik üretimi özellikle önemli görünmektedir. Kereste, kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrileri, fabrikaları çalıştırmak için gereken enerjinin %60'ını sağlamak için büyük fırınlarda ve kazanlarda kendi odun atıklarını yakar. Evlerimizde yemek pişirmek ve evlerimizi ısıtmak için soba ve şöminelerde odun yakmaktayız. Türkiye'de 6,5 milyon evde birincil ısıtma yakıtı olarak odun kullanılmaktadır (Gokcol ve ark., 2009).

Orman sektörünün atmosferik karbondioksiti tutmadaki rolü, bilim adamları ve politikacılar tarafından uzun süredir kabul edilmekte ve iklim değişikliğini azaltma çabalarında ormanların kullanılmasına olan ilgi artmaktadır. Orman sektörünün sera gazı birikimini azaltmak için nasıl kullanılabileceğine ilişkin örnekler, ormansızlaşmanın önlenmesi veya mevcut ormanların korunması, yeni orman alanlarının oluşturulması, hasat yoğunluğunun azaltılması, orman büyümesinin arttırılması, hasat edilen odun ürünlerinde (HWP) karbon depolanmasının arttırılması, ormancılık için odun biyokütlesinin kullanılmasıdır (Nepal ve ark., 2012).

Odunsu biyokütle, baskın bitki örtüsü tipinin yanı sıra ekosistemdeki odunsu biyokütle stoklarının uzaklığı, erişilebilirliği ve mevcudiyetine bağlı olarak çeşitli kaynaklardan elde edilmektedir. Odunsu biyokütle, kapalı ormanlardan, açık ormanlardan, ağaçlık alanlardan ve ağaçlık çayırlardan büyük miktarlarda elde edilir. Diğer biyokütle formlarıyla karşılaştırıldığında, odunsu biyokütle, Türkiye'de biyoenerji tüketimine açık ara en baskın katkıdır. Türkiye'nin toplam enerji üretimindeki payı %21 gibi yüksek bir paya sahiptir. Odunsu biyokütlenin biyokütle kaynaklarındaki payı %67'dir (Şekil 2.7.) (World Energy Council, 2010).



Şekil 2.7. Birincil Biyoenerji Karışımındaki Biyokütle Kaynaklarının Payı

Geleneksel ve modern biyoenerji şu anda birincil enerji arzının %9,5'ini oluşturmaktadır (Florini, 2011). Biyoenerjinin hem miktarı hem de yüzdesi önemli ölçüde artması beklenmektedir. Önümüzdeki yıllarda, hükümetler ve enerji sektörü, kömürden geçiş yapmasının yanı sıra kömürle çalışan altyapıyı sürdürmek isteyeceğinden ötürü, orman biyokütlesine olan talebin artması da muhtemel gözükmektedir. Biyokütle enerjisi için odun palet üretimi 2006 ve 2015 yılları arasında dört katına çıkarak 26 milyon tona (MT) ulaştı Odun paletlerinin baskın ithalatçısı olan AB'de, katı biyokütle tüm yenilenebilir enerjinin yaklaşık yarısını (%44,7) oluşturmaktadır (bu biyokütlenin %40'ı konut ısıtması için kullanılmaktadır). Yeni biyokütle pazarları Doğu Asya'da da hızla genişlemekte ve yakın gelecekte Avrupa talebine rakip olabileceği düşünülmektedir. Doğu Asya'dan olan Japonya hükümeti 11,5 GW'lık biyokütle elektrik projesini onaylamıştır (%40'ı hurma yağıyla üretim) (Obayashi, 2017). Bu büyümedeki temel itici güç, biyokütlenin sıfır karbonlu bir yakıt olarak ele alınması gerçeğidir. Bu varsayıma göre, mevcut biyokütlenin sadece bir kısmı 10 yıllık bir zaman çerçevesinde bir iklim faydası sağlayabilecek olmasına rağmen iklim açısından gerekçelendirilenden daha fazla biyoenerji kullanımıyla sonuçlanacaktır. Eğer biyoenerji kullanımı 10 yıllık bir süre içinde CO₂'de bir artışa neden oluyorsa, o zaman yakıt kaynağının yeniden

büyümesi sonunda ortadan kalksa bile iklim etkilerini şiddetlendirecektir. Orman biyokütlesinin kullanımındaki önemli artış, benzersiz bir 'çifte iklim sorunu' yaratma potansiyeline sahiptir (European Academies Science Advisory Council, 2019). Biyoyakıtlarla ilgili olarak, küresel biyoyakıt üretimi 2017'de 82 milyon ton petrol eşdeğerine (MTOE) ulaştı ve 2040'ta 142 MTOE'ye yükselmesi beklenmektedir (Outlook, 2019). Biyoyakıt yetkisini 2006'da %5'lik bir karışım hedefinden 2020'de %30'a çıkaran Endonezya'da, palm biyodizel talebindeki potansiyel büyüme, yüksek talep senaryoları altında 2030 yılına kadar ilave 18,6 MT palm yağı talebiyle sonuçlanabilir (Malins, 2017). Endonezya, iddialı biyodizel harmanlama hedeflerine ulaşmaktan biraz uzak olsa da şu anda mevcut palm biyodizel rafinaj kapasitesinin sadece %35'ini kullanıyor, bu da üretimin büyük ek yatırımlar olmadan önemli ölçüde artabileceğini göstermektedir (Bickford, 2019). Bu yeni ve gelişmekte olan pazarlardan gelen biyoyakıtlara yönelik birleşik talep, dünyanın kalan son bozulmamış ormanlarından bazılarında daha fazla ormansızlaşmaya yol açma ve ulaşım sektöründeki karbon emisyonlarını artırma potansiyeline sahiptir (Malins, 2018). Başlangıç noktası olarak, her biri yerinde ve saha dışında karbon depolama için farklı potansiyellere ve zaman çizelgelerine sahip ekosistemlerden çıkarılabilen üç farklı biyokütle arzı kategorisini dikkate almak faydalı olacaktır. Biyokütle, kereste, mahsul üretimi veya yemeklik yağ kullanımı gibi diğer faaliyetlerin kalıntısı veya atık ürünü olabilir. Biyokütle, karbon depolamasını artırmak veya habitatı başka yollarla iyileştirmek için ekosistemlerden de çıkarılabilir. Örneğin, orman yangını riskini azaltmak, ağaç büyümesini artırmak veya uzun ömürlü ürünlerde odun lifinin artan kullanımını kolaylaştırmak için biyokütlenin kaldırılması, biyoenerji için bir kaynak sağlarken aynı zamanda karbon depolamasını da artırabilir. Ve son olarak, biyokütle, özellikle enerji için yönetilen ekosistemlerden elde edilebilir. Bu kategorilerin her biri için arzu edirlilik, sürdürülebilirlik ve beklentiler önemli ölçüde farklılık gösterir (Reid ve ark., 2020).

2.13. Biyogaz Prosesi ile CO₂ Azaltımı

Biyogaz, %40-70 Metan ve %30-60 karbondioksit ve eser miktarda nitrojen, hidrojen, amonyak ve hidrojen sülfürden oluşan elektrik ve ısı enerjisi üretmek için kullanılan anaerobik fermantasyondan elde edilen bir gazdır. Anaerobik fermantasyon, biyokütle malzemesinin neden olduğu hoş olmayan koku, hava

kirliliği ve su kirliliğinin azaltılmasını sağlar ve fosil yakıt bazlı enerji üretimini azaltarak sera gazı emisyonları da azaltılabilir (Aksay ve Tabak, 2022).

1 kg CO₂'ye göre 1 kg metan'ın küresel ısınma potansiyeli, bu gazların ısıtma etkilerinin karşılaştırıldığı zamana bağlıdır. En son IPCC değerlendirme raporuna göre, standart 100 yıllık dönemde metanın küresel ısınma potansiyeli CO₂'nin 28 ila 34 katıdır. 20 yıllık bir süre için bu değer CO₂'nin 84 ile 86 katı arasındadır (Aksay ve Tabak, 2022).

Biyokütle materyali kullanılmadığı veya sahada bırakılmadığı takdirde atmosfere salınacak biyogaz emisyonu 9,2 kg CO₂/m³ olarak belirlenmiştir. Biyogazın yakılması ile ortaya çıkacak emisyon değeri 1,96 kg CO₂/ m³ biyogaz, elektrik üretiminde uygulanması halinde ise 0,734 kg CO₂/kWh olacaktır. Enerji tüketimiyle ilgili karbondioksit emisyonlarının %30'unu oluşturan en büyük CO₂ emisyonu, kömürle çalışan santrallerden üretilmektedir. Artan enerji talebi tamamen yenilenebilir tesisler tarafından karşılanamadığı için fosil yakıt tüketimi artmaya devam etmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu 2018 verilerine göre 304.802 GWh elektriğin %37,2'si kömüre dayalı enerji üretim tesislerinden üretilmektedir. Enerji talebinin biyokütle kaynaklı atıklardan sağlanması emisyonları da azaltacaktır (Aksay ve Tabak, 2022).

Tablo 2.20.'de Türkiye'de bölgelere göre toplam CO₂ emisyon azaltım miktarını göstermektedir. Tablo 2.20.'ye göre, Türkiye'nin biyokütle kullanımı ile olası toplam CO₂ emisyon azaltımı 174×10^9 kg CO₂'dir. Ayrıca Tablo 2.20.'de görüldüğü gibi en yüksek CO₂ emisyon azaltımı $21,2 \times 10^9$ kg CO₂ ile Ege bölgesinde, en düşük CO₂ emisyon azaltımı ise $0,9 \times 10^9$ kg CO₂ ile İstanbul'da gerçekleştirilmektedir. CO₂ azaltımı doğrudan biyogaz üretimi ve elektrik üretimi ile ilgili olduğu için veriler birlikte tabloda gösterilmiştir (Aksay ve Tabak, 2022).

Tablo 2.20. Bölgelere Göre Toplam CO₂ Azalımı

| Bölgeler | Biyogaz Üretimi m ³ (55% CH ₄) | Emisyon Azalımı (kgCO ₂) |
|------------------|---|--------------------------------------|
| Akdeniz | 1,796,996,635 | 17,577,661,858 |
| Batı Anadolu | 2,158,582,287 | 21,114,580,181 |
| Orta Anadolu | 1,795,621,646 | 17,564,212,144 |
| Doğu Anadolu | 857,881,477 | 8,391,529,635 |
| Güney Anadolu | 2,174,054,446 | 21,265,924,025 |
| Kuzey Anadolu | 1,346,982,533 | 13,175,763,957 |
| Ege | 2,331,322,832 | 22,804,274,435 |
| Batı Marmara | 1,615,017,962 | 15,797,603,110 |
| İstanbul | 93,986,864 | 919,350,254 |
| Doğu Marmara | 1,690,266,793 | 16,533,663,758 |
| Batı Karadeniz | 1,615,163,535 | 15,799,027,061 |
| Doğu Karadeniz | 316,839,861 | 3,099,228,919 |
| Türkiye (Toplam) | 17,792,716,871 | 174,042,819,343 |

2.14. Türkiye'deki Biyogaz Tesislerinin Bölgelere Göre Maliyet Hesaplaması

Dünya Biyogaz Birliği (2019) verileri, dünya genelinde hizmet veren 132.000 küçük, orta ve büyük ölçekli anaerobik çürütücü ve 700 biyogaz arıtma tesisi olduğunu göstermektedir. Asya'da biyogaz tesisleri çoğunlukla aile boyutundadır ve ev kullanımı için biyogaz üretirken, Avrupa ülkeleri ve Amerika'da biyogaz tesislerinin çoğu büyük ölçekli tesislerdir (Esin, 2020). Büyük ölçekli ticari biyogaz tesisleri öncelikle kendi iç enerji ihtiyaçlarını karşılar. Ulusal şebekelere ısı ve elektrik ticareti yaparak, doğal gaz şebekesine ve araç yakıt ikmal istasyonlarına geliştirilmiş biyogaz, organik gübreler ve toprak stabilizatörleri gibi fermantasyon sonrası ürünlerle kâr sağlamayı amaçlıyorlar (Esin, 2020).

Hesaplamalar sonucunda elde edilen, her bölge için potansiyeli yüksek şehirlerde biyogaz tesisi kurulmasına ilişkin maliyet analizi sonuçları Tablo 8'de sunulmaktadır. Seçilen illerde kurulu her tesiste 1150 \$/kW (960.5 €/kW) kurulum maliyeti ile 5 MW gücünde bir kojenerasyon sistemi kullanıldığı ve her 5 MW tesis için 10 personelin istihdam edildiği varsayılmıştır. Tablo 2.21.'de verilen verilerden daha yüksek katsayılar alınarak tesis maliyeti ve geri ödeme süresi belirlenir. Sonuç olarak, kojenerasyon ünitesi bakım ve onarım giderleri 1,1 €, sigorta ve vergi giderleri %10, hammadde temini ve nakliye giderleri 6 € olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2.21. Seçilen Şehirlere Göre Biyogaz Santralin maliyet analizi

| Bölgeler | Şehir | Kurulu Güç(MW) | Yatırım Maliyeti(Euro) | Yıllık Gider(Euro) | Yıllık Gelir(Euro) | Yıllık Kar(Euro) | Geri Ödeme(Yıl) |
|----------------|-----------|----------------|------------------------|--------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| Akdeniz | Adana | 149.120 | 596,480,000 | 100,140,070 | 216,058,759 | 115,918,688 | 5,14 |
| Batı Anadolu | Konya | 339.345 | 1,357,380,000 | 235,521,300 | 467,907,755 | 232,386,455 | 5,84 |
| Orta Anadolu | Sivas | 105.535 | 422,142,974 | 79,408,501 | 146,845,719 | 67,437,218 | 6,26 |
| Doğu Anadolu | Muş | 60.887 | 243,550,255 | 52,462,752 | 88,348,641 | 35,885,888 | 6,79 |
| Güney Anadolu | Şanlıurfa | 221.813 | 887,252,145 | 148,888,682 | 307,070,947 | 158,182,265 | 5,61 |
| Kuzey Anadolu | Erzurum | 118.761 | 475,045,511 | 110,685,005 | 173,575,687 | 62,890,681 | 7,55 |
| Ege | Manisa | 158.634 | 634,537,783 | 114,134,468 | 215,749,095 | 101,614,627 | 6,24 |
| Batı Marmara | Balıkesir | 156.059 | 624,239,343 | 122,491,036 | 227,039,579 | 104,548,542 | 5,97 |
| İstanbul | İstanbul | 25.691 | 102,765,237 | 20,483,622 | 38,259,574 | 17,775,951 | 5,78 |
| Doğu Marmara | Sakarya | 109.060 | 436,243,172 | 80,221,414 | 156,751,015 | 76,529,601 | 5,70 |
| Batı Karadeniz | Samsun | 87.633 | 350,532,597 | 69,271,974 | 128,917,002 | 59,645,027 | 5,88 |
| Doğu Karadeniz | Trabzon | 23.056 | 92,227,688 | 20,853,899 | 35,048,107 | 14,194,207 | 6,50 |

Tablo 2.21.'e göre en düşük geri ödeme süresi 5,14 yıl ile Akdeniz Bölgesi'nin Adana ilidir. Kuzeydoğu Anadolu bölgesinde Erzurum için en yüksek geri ödeme süresi 7,55 yıldır. Tesis maliyetleri dikkate alınırken en yüksek katsayılar uygulandığından geri ödeme süresi de maksimum değere ulaşmıştır. Biyogaz tesisi yatırımlarının önemli yönlerinden biri tesis geri ödeme süresi olup, burada elde edilen maksimum değerler yatırımcılara yol gösterecektir. Hayvanların birim gübre üretimi ve elde edilecek biyogaz hacmi değişkenlik gösterdiğinden organik gübreden elde edilebilecek gelir de değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle benzer kurulu kapasiteye sahip şehirlerde geri ödeme süresi farklılık göstermektedir.

2.15. Biyogaz Prosesi ile Üretim Yapmanın Sonuçları

Hayvan gübresi, artan sera gazı emisyonları, toprak kısırlılığı, su kirliliği gibi ciddi çevre sorunlarına neden olduğu için tedavi edilmesi gerekmektedir. Uygun atık yönetimi, çevre kirliliğini önlemenin yanı sıra enerji üretimi ve organik gübre geliri sağlar. Sığır, keçi, koyun, etlik piliç ve yumurta tavuğu gübresinin toplanabilir gübre içerisinde değerlendirildiği bu araştırmada, Türkiye'nin gübre potansiyeli 176 milyon ton/yıl'dır. 12 bölge arasında en yüksek gübre bazlı biyogaz potansiyeli 922 milyon m³ CH₄/yıl ile Ege bölgesindedir.

Tarımsal atıklarda pirinç, yulaf, çavdar, buğday, arpa, mısır ve ayçiçeği bitkileri değerlendirilmekte ve 17 milyon ton tahsil edilebilir tarımsal atık potansiyeli elde edilmektedir. Tarımsal atıklardan biyogaz potansiyelinin en yüksek olduğu bölgeler 779,16 milyon m³CH₄/yıl ile Güneydoğu Anadolu ve 779,12 milyon m³ CH₄/yıl ile Batı Anadolu'dur. Hem hayvan gübresinden hem de tarımsal atıklardan elde

edilebilecek toplam biyogaz potansiyeli 17,8 milyar m³tür. 12 bölge arasında en yüksek biyogaz potansiyeli 2,33 milyar m³ ile Ege bölgesinde yer almaktadır.

Biyogazdan elde edilebilecek elektrik enerjisi 38.909 GWh/yıl'dır. Kuzeydoğu Anadolu ve Orta Doğu Anadolu bölgelerinde elektrik tüketimini karşılama oranının %100'ün üzerinde olduğu 6 il bulunmaktadır. Yani bu 6 şehir biyogaz potansiyellerini kullanırsa elektrik ihtiyacından fazlasını üretebileceklerdir. Türkiye biyogaz potansiyelini elektrik enerjisine dönüştürürse azaltılan karbon emisyonu 174 milyon ton CO₂/yıl olacaktır. Tüm bölgeler arasında en yüksek değeri 22 milyon ton CO₂/yıl ile Ege bölgesi almaktadır.

Bu araştırmada en yüksek katsayıların alındığı koşullarda biyogaz tesisi kurulması durumunda, yatırımın geri dönüş süresinin en düşük olduğu bölge 5,14 yıl ile Akdeniz Bölgesi, en yüksek olduğu bölge ise 7,55 yıl ile Kuzeydoğu Anadolu Bölgesidir. Geri ödeme süreleri, literatürde daha iyi koşullarda değerlendirildiğinde daha düşük olabilecek ekonomik verileri en yüksek olan durumlar için hesaplanmıştır (Aksay ve Tabak, 2022).

2.16. Odun Peleti

Odun Peleti, yenilenebilir enerji kaynakları arasında çevre dostu olması ve üretim teknolojisi kolaylığı gibi özellikleri ile sektörde daha hızlı önem kazanmıştır. Odun artıklarının kurutulup, öğütülerek talaş haline getirildikten sonra yüksek basınçla sıkıştırılmasından elde edilen 6-10 mm çapındaki yakıt topakları odun peletini oluşturur. Ekonomik açıdan ise günümüzde fosil yakıtlar ile mukayese edilebilir duruma gelmiştir. Dünya'da pelet ihracatında ABD, Kanada, Letonya, Vietnam ve Rusya öne çıkmaktadır. Bu ülkeler 2018 yılında odun peleti ihracatının yaklaşık %69'unu oluşturmuşlardır. Odun peletinin Türkiye'de üretilmesi ve ekonomiye kazandırılması üzerine çalışmalarda bulunmaktadır. Ancak bu çalışmaların gerek ekonomik gerekse üretim açısından güncellenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Dünyada enerji fiyatlarının artması, enerji arz güvenliğindeki olaylar, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi ve iklim değişikliği ile mücadelede fosil yakıtların kullanımını azaltmaya yönelik yasal düzenlemeler ve politikalar sonucunda yenilenebilir enerjinin payı enerji üretiminde başta biyokütle yakıtları olmak üzere kaynaklar artmaktadır. Odun pelet, üretim kolaylığı ve yüksek hammadde potansiyeli

nedeniyle biyokütle yakıtlarında öne çıkan bir üründür. Türkiye'de yenilenebilir enerji ile ilgili yasal düzenlemeler yapılmış olmasına rağmen, özellikle yüksek maliyetler nedeniyle odun peleti beklenenden daha düşük talep görmüştür.

Türkiye bağlamının ekonomik karşılaştırması, odun peletinin diğer enerji kaynaklarından daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Türkiye'de bir ev, 2 ton kömür, 1142 kg akaryakıt, 1454 m³ doğal gaz veya 2,66 ton odun peleti gerektiren yaklaşık 50,2 GJ ısıtma enerjisine ihtiyaç duyar. Tablo 2.22.'de fosil yakıtlar ve odun peletinin karşılaştırılması yapılmıştır (Aksay ve Tabak, 2022).

Tablo 2.22. Fosil Yakıtlar ve Odun Peletinin Karşılaştırılması

| Enerji Kaynakları | Enerji(kcal) | Miktar(kg) | Birim Fiyatı (\$) | Toplam (\$) |
|-------------------|--------------|------------|-------------------|-------------|
| Kömür | 6000 | 2000 | 0.28 | 560 |
| Petrol | 10500 | 1142 | 0.47 | 541 |
| Doğalgaz | 8250 | 1454 | 0.31 | 450 |
| Odun Peleti | 4500 | 2660 | 0.14 | 371 |

Odun peletinin enerji yoğunluğu (18 MJ/kg) daha düşük olduğu için diğer enerji kaynaklarına göre daha düşük enerji değerine sahiptir. Ancak bu düşük enerji değeri ve yüksek kullanım oranı, odun peletinin diğer enerji kaynaklarına göre daha ucuz olduğu anlamına gelmektedir.

Türkiye biyoenerji potansiyeli hakkında daha fazla farkındalık yaratmaya çalışmalıdır. Odun peletlerine pazar oluşturacak yasal düzenlemeler yapılmalıdır. Özel sektör yatırımları teşvik edilmeli, milli üretim standartları oluşturulmalıdır.

2.17. Kaynak Araştırmasının Değerlendirilmesi

Say ve Yücel, toplam enerji tüketimi ile toplam CO₂ emisyonu arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Toplam enerji tüketimine dayalı CO₂ emisyonu 2015 yılına kadar tahmin edilmiş, IPCC yöntemi ile hesaplanmış ve iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışma enerji sektöründeki toplam CO₂ emisyonlarını içerse de özellikle elektrik sektörüyle ilgili değildi (TEİAŞ, 2022).

Ari ve Köksal, Türkiye'de 2001 ve 2008 yılları arasında faaliyet gösteren FFPP'lerin verilerini kullanarak IPCC metodolojisi ile elektrik üretiminin CO₂ emisyonunu ve yakıtta özgü CO₂ emisyon faktörlerini hesaplamış ve 2009 ile 2019 yılları arasında FFPP'lerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının bir tahminini yapmıştır (Ari ve Aydinalp Köksal, 2011).

Özcan, 2013-2017 dönemi için yakıt türlerine göre elektrik üretiminden kaynaklanan yıllık CO₂ emisyonunu tahmin etmiş ve aynı dönemin her yılı için fosil yakıtlardan üretilen elektriğe uygulanan karbon vergisinden elde edilen tahmini gelirleri hesaplamıştır (Özcan, 2016).

Akbostancı ve diğerleri, 1990-2013 dönemi için Türkiye ekonomisinin CO₂ emisyonlarını farklı sektörler için ayırtmış ve elektrik ve ısı üretiminin CO₂ emisyonlarını etkileyen en baskın sektörlerden biri olduğunu belirlemişlerdir (Akbostancı ve ark., 2018).

Ari ve Yılmaz, Türkiye'nin Hedeflenen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı (INDC) hedeflerine ulaşmada RES'in etkilerini analiz etmişlerdir. Çalışmalarında, Düşük INDC, Referans-INDC ve Yüksek-INDC olmak üzere üç senaryo geliştirilmiş ve yenilenebilir enerji kullanımının Türkiye'nin INDC hedefi üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılmıştır (Ari ve Yılmaz, 2019).

Dulkadiroğlu, 2000-2014 dönemi için enerji üretiminde kullanılan yakıt türleri ve hesaplanan emisyon faktörleri ile emisyonların değişimini araştırmıştır (Dulkadiroğlu ve ark., 2018).

Şahin, Türkiye'nin enerji ve diğer sektörleri içeren sera gazı emisyonlarının tahmini için doğrusal ve doğrusal olmayan yuvarlanan metabolik gri modeli uygulamıştır (Şahin, 2019).

Bakay ve Ağbulut, Türkiye'deki elektrik üretim sektöründen derin öğrenme (DL), destek vektör makinesi (SVM) ve yapay sinir ağı (YSA) algoritmalarını kullanarak sera gazı emisyonlarını tahmin etmeyi amaçlamıştır (Bakay ve Ağbulut, 2021).

Yang ve diğerleri, yenilenebilir enerji yatırımlarının yapısı açısından, güneş enerjisi ve biyoenerjiye orantılı yatırımın artırılmasının karbondioksit emisyonlarını artırabilirken, rüzgâr enerjisine orantılı yatırımın artırılmasının karbondioksit emisyonlarını azaltabileceğini, bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrikte orantılı yatırımın artırılması, karbondioksit emisyonlarını önemli ölçüde etkilemeyeceğini savunmuştur (Yang ve ark., 2022).

Zhu ve arkadaşları, yenilenebilir enerji yatırımlarında devlet teşviklerine dikkat çekmiştir. Devletin izleyeceği politika üzerine yenilenebilir enerji yatırımlarının gerçekleşeceği ve sonucunda emisyon miktarlarına etkisinin görüleceğini savunmuştur (Zhu ve ark., 2022).

Osiolo, Afrika'da yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyet araştırması ve kullanımı üzerine çalışma yapmıştır. 2010-2018 yılları arasında küresel düzeyde güneş ve rüzgâr projelerinin toplam kurulum maliyetleri düşerken, aynı dönemde Afrika için de hidroelektrik ve biyoenerji projeleri için kurulum maliyetlerinin arttığını, hidroelektrik ve biyoenerji projeleri için artan yatırım maliyetinin esas olarak zorlu inşaat mühendisliği ortamından kaynak çıkarmanın yüksek maliyeti ile açıklanmıştır. Hidroelektrik, Afrika'da güneş ve rüzgârdan daha iyi performans gösteren teknolojiler olarak kabul edildiğini savunmuştur. Ayrıca elektrik tüketimi ile karbon emisyonları arasında ve elektrik tüketimi ile hidroelektrik üretimi arasında negatif çift yönlü bir nedensellik olduğunu göstermiştir. Bu, yenilenebilir enerji üretim yatırımlarının daha düşük karbon emisyonu ile örtüşmesi koşuluyla, hidroelektrik üretimi dışındaki yenilenebilir nesillere yatırım yapılarak ekonomik büyümenin sağlanabileceği anlamına geldiğini savunmuştur (Osiolo, 2021).

Kul ve diğerleri, yatırımların yenilenebilir enerji teknolojilerine yönlendirilmesinin küresel iklim anlaşmasında belirlenen hedeflere ulaşmak için çok önemli olduğunu savunmuştur. Türkiye'de daha temiz enerji üretimi ve sürdürülebilir sosyo-ekonomik kalkınma için yenilenebilir enerji yatırımlarında hükümet politikası hakkında incelemelerde bulunmuştur. Yenilenebilir enerji projelerine yatırım yapmanın ve bunları geliştirmenin, çeşitli yapısal risklere maruz kalabileceğini ve yenilenebilir enerji yatırımlarının risk faktörlerinin değerlendirilmesi üzerinde çalışmasında bilgilere yer vermiştir. Bu çalışma, Türkiye'deki yatırımlarda risk faktörlerini değerlendirmek ve incelemek için Çok Kriterli Karar Metodolojisi (MCDM) tabanlı üç aşamalı bir karar çerçevesi sunmaktadır. İlk aşama, Delphi yöntemi kullanılarak yenilenebilir enerjinin risk faktörlerinin belirlenmesidir. İkinci aşama, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılarak yenilenebilir enerjinin belirlenen risk faktörlerinin değerlendirilmesidir. Üçüncü aşama, Bulanık Ağırlıklı Toplu Toplam Ürün Değerlendirmesi (FWASPAS) kullanılarak yenilenebilir enerji projelerinin risk faktörlerinin üstesinden gelmek için stratejilerin değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesini ele almıştır (Kul ve ark., 2020).

Steffen ve diğerleri, güneş ve rüzgâr enerjisi ile elektrik üretiminde bakım maliyetleri üzerine çalışmalar yapmış ve 2017'de, işletme ve bakım (OveM), Avrupa'daki rüzgâr ve güneş santrallerinin yaşam döngüsü maliyetlerinin %20-25'ini oluşturduğunu çalışmada ise Almanya'dan yeni veriler sunarak kara rüzgarı için %9,2-%12,8 ve

güneş enerjisi için %15,7–%18,2 sonuçları ile işletme ve bakım maliyetlerinde azalma olduğunu savunmuştur (Steffen ve ark., 2020).

Kerem, Kahramanmaraş'taki santralleri ele almıştır. Bunun sebebi ise hidroelektrik, güneş, rüzgâr, linyit gibi yüksek potansiyele sahip 71 adet lisanslı santral bulunması, ikincisi ise kentteki yenilenebilir enerji santrallerinin karbon ayak izi tasarruflarının henüz araştırılmamış olmasıdır. Ayrıca henüz değerlendirilmemiş olan rüzgâr, güneş ve biyokütle dahil olmak üzere büyük yenilenebilir enerji potansiyeline sahip bir il olduğunu, yenilenebilir enerji üzerine yatırım yapılarak kurulu güçlerin artırılıp, daha fazla enerji üreterek daha fazla karbon ayak izi tasarrufu elde etmenin mümkün olduğunu, böylece iklim değişikliği ile mücadeleye hem ulusal hem de küresel ölçekte faydalı bir katkı sağlanabileceği savunmuştur (Kerem, 2022).

Özcan ve diğerleri, yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak amacıyla olanlar için Türkiye'de yeşil tahvillerin kullanımı inceleyerek, bu destekleme mekanizmasının yenilenebilir enerji yatırımlarında finansman amacıyla kullanımının artırılması için öneriler sunmuştur (Özcan ve Durmuşoğlu, 2022).

Kabakcı, geleneksel yöntemlerle elektrik enerjisi üreten santrallerin üretim kapasitelerinin zamanla azaltılması gerektiği ve yenilenebilir (alternatif) enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasını savunmuştur. Bu sayede hem kaynak rezerv sorunu hem de atmosfere verilen zararın minimuma indirgeneceğini açıklamıştır. Yenilenebilir (alternatif) enerji kaynakları kullanarak enerji üreten santraller, doğal kaynakları kullandıkları için çevre kirliliğine neden olmamaktadır. Düşük üretim verimliliği, yenilenebilir enerji santrallerinin dezavantajlarından biridir. Önümüzdeki dönemde yenilenebilir enerji santrallerinin üretim verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması gerektiği, üretim verimliliğinin artmasıyla birlikte geleneksel yöntemlerle üretim yapan santrallerin toplam üretim içindeki oranının azalacağı, bu sayede atmosfere daha az zararlı gaz salınacak ve çevre kirliliği azaltılacağı bu çalışmada ifade edilmiştir (Kabakcı, 2020).

Ümit, çalışmasında RES santrali 7. Yılında, GES santrali 5. yılında ve Biyokütle Santrali 6. yılında faizini ödemekte ve anaparasını amorti ettiğini ifade etmiştir (Esin, 2020).

Berkün, çalışmasında hidroelektrik santrallerde amorti süresi ortalama 3-7 yıl arasında olduğunu ifade etmiştir (Karadeniz ve ark., 2011).

Yılmaz, çalışmasında hidroelektrik santrallerin ilk yatırım maliyetlerinin diğer santrallere göre biraz daha yüksek olduğunu, hidroelektrik santrallerin ilk yatırım maliyetlerinin 1900-2600 \$/kW iken biyokütle enerji santrallerinin ilk yatırım maliyetleri 2000-3500 \$/kW olduğunu ifade etmiştir. Hidroelektrik santrallerde bulunan tribünlere göre çıkış gücü değişkenlik gösterdiği çalışmada belirtilmiştir. Ayrıca hidroelektrik santrallerde debinin şiddeti ile santralde üretilen enerji üretimi, kazanç, yatırım maliyetinin ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Esin, 2020).

Bayazıt, hidroelektrik enerjide ilk yatırım maliyetlerinin yüksek gibi görünse de uzun ekonomik ömrü, düşük işletme ve bakım maliyetleri nedeniyle uygulanabilir bir enerji üretim projesi olarak değerlendirilmesi gerektiğini savunmuştur. Türkiye'nin, küresel ısınmanın yıkıcı sonuçları açısından riskli ülkeler arasında yer alan bir ülke olduğunu hatırlatmakta ve uzun vadede, sürdürülebilir ekonomiyi desteklemek ve çevresel etkileri azaltmak için hidroelektrik kaynaklarının kullanımının kilit rol oynayacağını desteklemiştir. Çalışmasında SIMAHPP 5 Professional programını kullanarak hidroelektrik enerji üretiminin fosil yakıtlar ile üretilseydi çevreye yayılacak sera gazını ortaya koymuş ve yenilenebilir enerji kaynaklarından hidroelektriğin önemini vurgulamıştır (Bayazıt, 2021).

Bizim bilgimize göre literatürde HES ve BES'i incelediğimiz parametler bazında karşılaştıran ve örneklem sayısı bu çalışmadaki kadar fazla olan bir çalışma bulunmasa da araştırma konusu olan analizler, öncesinde de araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Bunun en önemli etkeni küresel anlamda etkinliği çok önemli boyutta olan enerji talebinin giderek artması, sanayileşme ve bununla birlikte gelen küresel ısınma olmuştur. Literatür çalışmalarında araştırma konuları olan sera gazı emisyon salınımı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulum maliyetleri, amorti süreleri, devlet teşvikleri, hidroelektrik santrallerin debilerinin kazançlarına etkileri, bakım maliyetleri, emisyon hesaplamalarında kullanılan yöntemler ve analizler konunun araştırılmasında ve yöneliminde motivasyon kaynağı ve seçilen parametrelerin belirlenmesinde etkili olmuştur. Ayrıca sektörel olarak da günden güne önemi giderek artan yenilenebilir enerji kaynakları üzerine literatüre önemli bir kazanım sağlaması amacıyla konu derinlemesine araştırılmış, saha çalışanları ile de istişare sonucu oluşturulan veriler ile konu pratik anlamda da güncelliği ile yenilenebilir enerji üzerinde çalışma yapacaklara rehber olması hedeflenmiştir.

3. YÖNTEM

Çalışmada iki yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik ve biyoenerji alanında üretim yapan ve aktif devrede olan santral çalışanlarından analiz edilecek veriler toplanmıştır. Verilerin toplanma aşamasında seçilecek santrallerin YEKDEM (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması) kapsamına alınmış olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca santrallerden edinilen veriler YEKDEM listesi ile de karşılaştırılarak değerlendirme sağlanmıştır. Artvin'in Murgul ilçesinde bulunan ARTEN BES ve Trabzon'da bulunan Evra Katık Atık İşletme Tesisinden santral ziyareti gerçekleştirilerek veriler elde edilmiştir. Çalışmada geneli Artvin'de olan hidroelektrik santrallerde çalışan mühendisler veya HES'lerin işletmesini yürüten yetkililerden bilgiler saha ziyaretleri ile sağlanmıştır. Değerlendirmede çeşitliliği artırmak amaçlı debisi ve yükseltisi farklı HES'ler seçilmeye çalışılmıştır. Giderek artan enerji arzında karbon salınımı azaltmak amacıyla da yönlenmesi zorunluluk hale gelen bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı biyoenerji santralleri ile kıyaslamak amacıyla ülkenin çeşitli yerlerinde bulunan santral çalışanları ile iletişime geçilerek veriler toplanmıştır. Burada iki yenilenebilir enerji türünü karşılaştırabilmek için kıyaslanacak veriler ortak seçilmeye çalışılmıştır. Veriler literatür taramasının da sonucu olarak seçilerek iki yenilenebilir enerji santrali arasında avantaj ve dezavantaj oluşturabilecek durumları irdelemek olacaktır. Genel olarak santrallerin üretim kapasitesi, bakım maliyetleri, yatırım maliyetleri, amorti durumları, fosil yakıtlara göre karbon salınımını önleme durumu gibi etkenleri karşılaştırmanın yanı sıra HES'leri kendi aralarında da debi ve yükselti parametresi ile karşılaştırarak SPSS programı üzerinde analiz çalışması yapılmıştır. Santralde çalışan mühendislerden yıllık üretim miktarları, hammadde olarak kullanılan malzemeler hakkında bilgi edinilirken, işletme sahiplerinden yatırım maliyetleri, amorti süreleri, ayrıca santral bakım mühendislerinden de yıllık bakım maliyetleri konusunda bilgi edinilmiştir. Biyoenerji tesislerinde karbon salınımı önleyici tedbirler konusunda tarafımıza bilgilendirmeler yapılmıştır. Tüm toplanan veriler ışığında ise çalışmanın literatüre uygunluğu açısından da istatistik yöntemiyle veriler değerlendirilmiştir.

3.1. Çalışmada Kullanılan Santral Bilgi ve Kurulu Güçleri

Hidroelektrik Santrallerin tümü Karadeniz Bölgesinden seçilmiştir. Tablo 3.1.'de Karadeniz Bölgesinden seçilen 19 HES'in isimleri ve kurulu güçleri verilmiştir. Seçilen santrallerin toplam kurulu gücü 241,24 MW dır. Türkiye'de ise akarsu tipi HES kurulu gücü TEİAŞ Eylül 2022 raporuna göre 8293 MW dır. Seçilen santrallerin tüm santrallere oranlaması %2,9 dur. TEİAŞ Eylül 2022 raporuna göre akarsu tipi santral adedi 609 dur. Örnek alınan santrallerin tüm akarsu tipi santrale oranı ise %3,11 dir.

Tablo 3.1. Seçilen Hidroelektrik Santraller ve Kurulu Güçleri

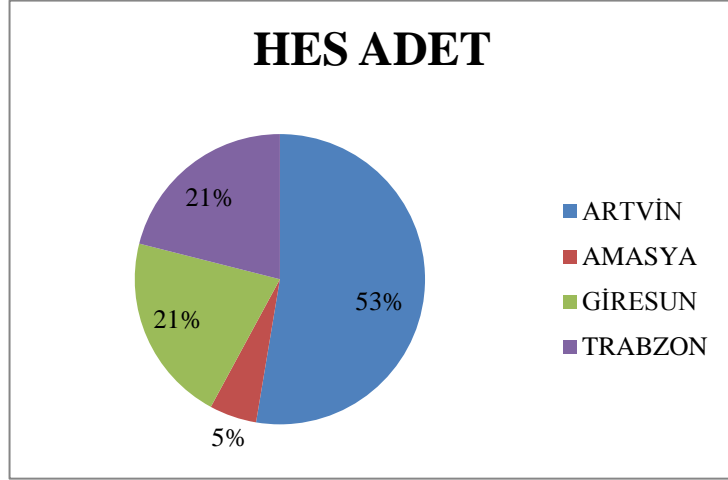
| SANTRAL İSMİ | KURULU GÜCÜ(MW) | İL | BÖLGE |
|--|-----------------|---------|-----------|
| Diyoban HES | 19,04 | ARTVİN | KARADENİZ |
| Hanlı Hes | 1,68 | ARTVİN | KARADENİZ |
| Şavşat Hes | 14,52 | ARTVİN | KARADENİZ |
| Özgüven HES | 1,1 | ARTVİN | KARADENİZ |
| Balıklı 1-2-3 regülatörü ve hidroelektrik santrali | 9,787 | ARTVİN | KARADENİZ |
| İskale HES | 10,5 | ARTVİN | KARADENİZ |
| ÇARIKLI HES | 9,33 | AMASYA | KARADENİZ |
| Susuz Hes | 7,1 | ARTVİN | KARADENİZ |
| Kabaca HES | 27 | ARTVİN | KARADENİZ |
| Cala HES | 15,636 | ARTVİN | KARADENİZ |
| Yumrutepe HES | 15,01 | GİRESUN | KARADENİZ |
| Erik Hes | 15,02 | ARTVİN | KARADENİZ |
| Seydioğlu Hes | 2,28 | TRABZON | KARADENİZ |
| Gelen Hes | 7,2 | GİRESUN | KARADENİZ |
| Oylum 1-2 Hes | 5,46 | TRABZON | KARADENİZ |
| Lale Hes | 6,5 | TRABZON | KARADENİZ |
| Yanbolu Hes | 9,08 | TRABZON | KARADENİZ |
| Paşalı Hes | 7 | GİRESUN | KARADENİZ |
| Kovanlık Hes | 58 | GİRESUN | KARADENİZ |
| Toplam Kurulu Güç | 241,24 | | |

Tablo 3.2.'de seçilen santrallerin illere göre dağılımı verilmiştir. 10 adet Artvin, 1 adet Amasya, 4 adet Giresun ve 4 adet Trabzon ilinden santrallerden bilgiler alınmıştır.

Tablo 3.2. Seçilen HES'lerin İllere Göre Dağılımı

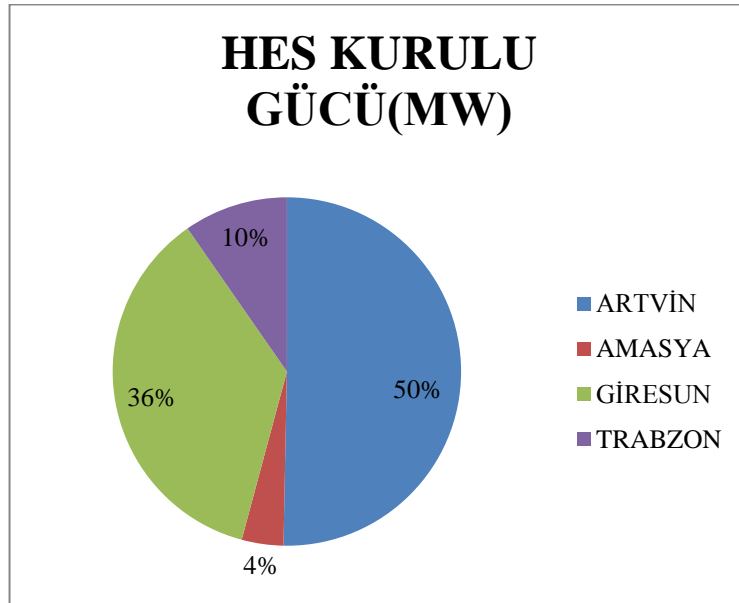
| İL | KURULU GÜCÜ(MW) | ADET |
|---------|-----------------|------|
| ARTVİN | 121,383 | 10 |
| AMASYA | 9,33 | 1 |
| GİRESUN | 87,21 | 4 |
| TRABZON | 23,32 | 4 |

Şekil 3.1.'de seçilen santrallerin illere göre dağılımı verilmiştir. %53 ile Artvin ilinden seçilen santrallerin çoğunlukta olduğu görülmüştür.



Şekil 3.1. Seçilen HES'lerin İllere Göre Dağılımı

Şekil 3.2 seçilen HES'lerin kurulu güçlerinin illere göre dağılımını göstermektedir. %50 ile toplam kurulu gücü en yüksek olan il Artvin olmuştur.



Şekil 3.2. Seçilen HES'lerin İllere Göre Kurulu Güçlerinin Karşılaştırılması

Biyoeenerji Santraller 5 bölgeden seçilmiştir. Tablo 3.3.'de seçilen 14 BES'in isimleri ve kurulu güçleri verilmiştir. Seçilen santrallerin toplam kurulu gücü 157,01 MW dır. Türkiye'de biyoeenerji santrallerin kurulu gücü TEİAŞ Eylül 2022 raporuna göre 1822,9 MW dır. Seçilen santrallerin tüm santrallere oranlaması %8,6 dur. TEİAŞ Eylül 2022 raporuna göre biyoeenerji santral adedi 383 dür. Örnek alınan santrallerin tüm biyoeenerji santrale oranı ise %3,6 dır.

Tablo 3.3. Biyoenerji Santral İsimleri ve Kurulu Güçleri

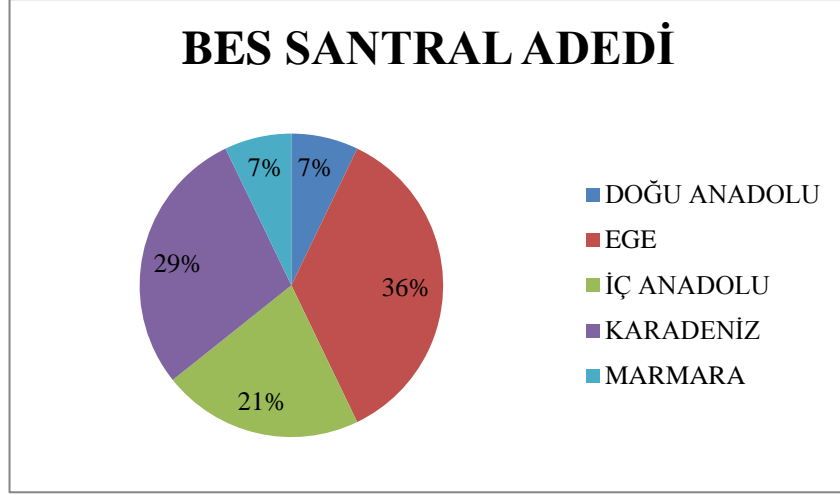
| SANTRAL İSMİ | KURULU GÜCÜ (MW) | BÖLGE |
|---|------------------|--------------|
| MALATYA ÇÖP GAZI SANTRALİ | 4 | DOĞU ANADOLU |
| ZNP BİYOKÜTLE ENERJİ SANTRALİ (13,5 MWm) | 13,5 | EGE |
| HONAZ BES (20 MWe) | 20 | EGE |
| MUTLULAR BİYOKÜTLE ENERJİ SANTRALİ (30 Mwe) | 30 | EGE |
| SALİHLİ BİYOKÜTLE ENERJİ SANTRALİ | 10,5 | EGE |
| SEM BİYOKÜTLE | 1 | EGE |
| KARAMAN BİYOKÜTLE ENERJİ SANTRALİ- 1x40 MWh | 40 | İÇ ANADOLU |
| POLRES-ANKARA BİYOGAZ (3,091 MWm) | 2,972 | İÇ ANADOLU |
| KONYA SEYDİBEY BİYOGAZ | 2,8 | İÇ ANADOLU |
| TRABZON EVRA | 12,805 | KARADENİZ |
| ÇORUM BİYOGAZ | 6,02 | KARADENİZ |
| Amasya Biyogaz Tesisi | 1,501 | KARADENİZ |
| MURGUL ARTEN BES | 10 | KARADENİZ |
| Nexus Enerji A.Ş. Katı Atık Ayrıştırma ve Biyokütle | 1,91 | MARMARA |
| Toplam Kurulu Güç | 157,01 | |

Tablo 3.4.'de seçilen santrallerin bölgelere göre dağılımı verilmiştir. 1 adet Doğu Anadolu, 5 adet Ege, 3 adet İç Anadolu ve 4 adet Karadeniz ve 1 adet Marmara bölgesindeki santrallerden bilgiler alınmıştır.

Tablo 3.4. Biyoenerji Santralleri ve Bölgeleri

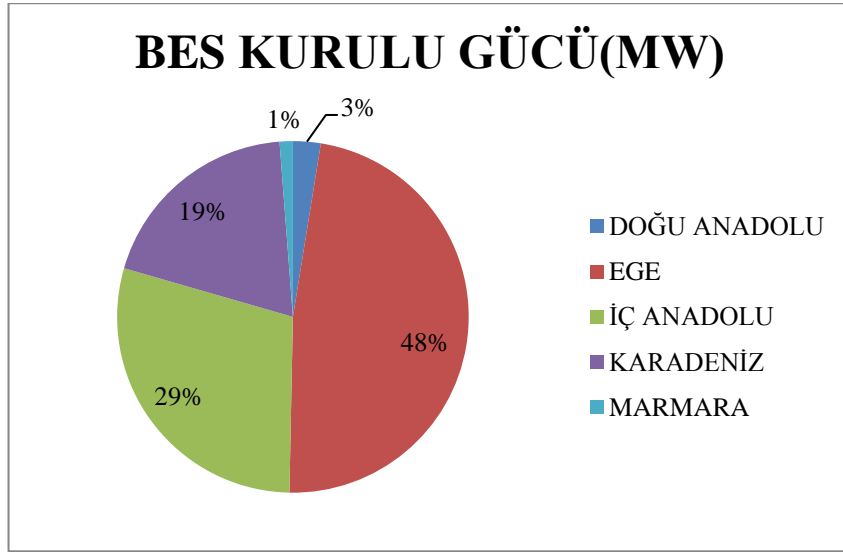
| SANTRAL ADEDİ | BÖLGE |
|---------------|--------------|
| 1 | DOĞU ANADOLU |
| 5 | EGE |
| 3 | İÇ ANADOLU |
| 4 | KARADENİZ |
| 1 | MARMARA |

Şekil 3.3.'de seçilen biyoenerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir. %36 ile seçilen santrallerde en yüksek Ege Bölgesi kullanıldığı görülmüştür.



Şekil 3.3. Seçilen Biyoenerji Santrallerin Bölgelere Göre Dağılımı

Şekil 3.4.'de seçilen biyoenerji santrallerinin bölgelere göre kurulu güç dağılımı verilmiştir. %46 ile seçilen santrallerde kurulu gücü en yüksek Ege Bölgesi kullanıldığı görülmüştür.



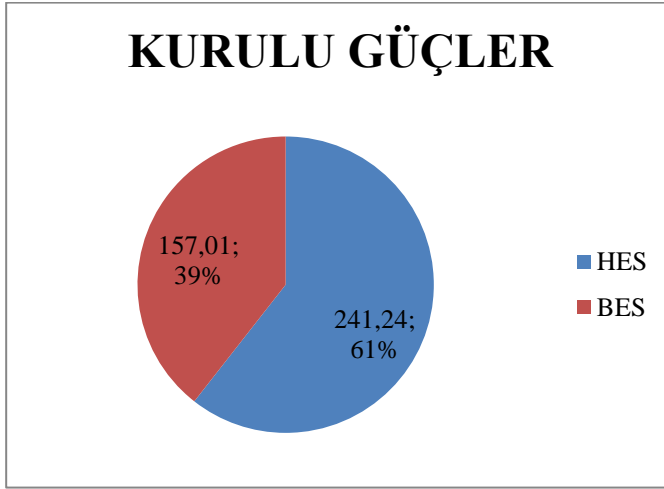
Şekil 3.4. Seçilen Biyoenerji Santrallerinin Kurulu Güçlerinin Oranlanması

Tablo 3.5.'de çalışmada kullanılan santral adetleri ve kurulu güçleri birlikte verilmiştir.

Tablo 3.5. Çalışmada Kullanılan Santral Adetleri ve Kurulu Güçleri

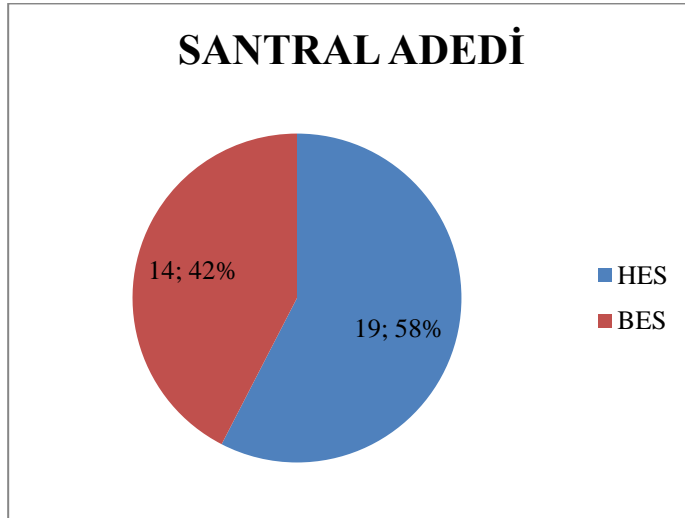
| | KURULU GÜÇLER | SANTRAL ADEDİ |
|-----|---------------|---------------|
| HES | 241,24 | 19 |
| BES | 157,01 | 14 |

Şekil 3.5.'de çalışmada kullanılan santral kurulu güç oranları verilmiştir. Hidroelektrik santrallerin kurulu güç oranları %61'dir.



Şekil 3.5. Çalışmada Kullanılan Santral Kurulu Güç Oranları

Şekil 3.6.'da çalışmada kullanılan santral adetlerinin oranı verilmiştir. 19 santral ve %58 oran ile Hidroelektrik santrallerden daha çok veri alındığı görülmektedir.



Şekil 3.6. Çalışmada Kullanılan Santral Adetlerinin Oranı

3.2. Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışmadaki tüm verilerin istatistiksel değerlendirmeleri IBM SPSS v24 programı ile gerçekleştirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistikler (ortalama, standart sapma, ortanca, çeyrekler arası açıklık, sayı, yüzde) hesaplanmıştır. Nicel değişkenlerin normal dağılıma uygunluğuna Shapiro Wilk Testi kullanılarak bakılmıştır. Normal dağılım göstermeyen değişkenlerin ilişkisiz örneklem ortancalarının karşılaştırılmasında Mann Whitney U Testi kullanılmıştır. Veriler

normal dağılım göstermediği için değişkenler arasındaki korelasyon Spearman korelasyon testi ile araştırılmıştır. Korelasyon katsayısı, 0-0,2 değerleri arasında ise çok zayıf düzeyde ilişki, 0,2-0,4 değerleri arasında ise zayıf düzeyde ilişki, 0,4-0,6 değerleri arasında ise orta düzeyde ilişki, 0,6-0,8 değerleri arasında ise yüksek düzeyde ilişki, 0,8 ve daha yüksek bir değerde ise çok yüksek düzeyde ilişki olarak nitelendirilmiştir (Zhou ve ark., 2016). Anlamlılık düzeyi $p<0.05$ ve $p<0.001$ olarak alınmıştır.

4. ÇALIŞMA SONUÇLARI

4.1. İstatiksel Analiz

Elde edilen veriler SPSS (Statistical Package for Social Sciences) 28 paket programı kullanılarak analiz edildi. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistiklerden frekans, yüzde, ortalama ve standart sapma kullanıldı. Verilerin normal dağılımında olup olmadığı Kolmogrov Simigrov Testi ile saptandı. İki grup arası ortancaların karşılaştırılması, Mann-Whitney U testi ile yapıldı. Değişkenler arasındaki ilişki, Spearman korelasyon analizi ile incelendi ve bağıntı katsayıları (r) hesaplandı. $r < 0.2$ ise çok zayıf ilişki yada korelasyon yok, 0.2-0.4 arasında ise zayıf korelasyon, 0.4-0.6 arasında ise orta şiddette korelasyon, 0.6-0.8 arasında ise yüksek korelasyon, $0.8 >$ ise çok yüksek korelasyon olduğu yorumu yapıldı (Patricia A. Patrician, 2017). Tüm istatistiklerde p değeri < 0.05 veya < 0.001 düzeyinde anlamlı olarak kabul edildi.

Tablo 4.1. Hidroelektrik Santrallerin Korelasyonu

| | Amorti Süresi (yıl) | | Bakım Maliyeti | | Üretilen güç (MW) | | Enerji Kaybı (Mwe) | | Yıllık enerji üretimi (\$) | | Elektrik Üretim Maliyeti (USD/kWh) | | Desarj (m ³ /s) | |
|------------------------------------|---------------------|--------|----------------|--------|-------------------|---------|--------------------|---------|----------------------------|---------|------------------------------------|-------|----------------------------|--------|
| | r | p | r | p | r | p | r | p | r | p | r | p | r | p |
| Bakım Maliyeti | 0,383 | 0,05 | | | | | | | | | | | | |
| Üretilen güç (MW) | 0,429 | 0,033* | 0,538 | 0,009* | | | | | | | | | | |
| Enerji Üretimi (kWh/yıl) | 0,316 | 0,09 | 0,332 | 0,08 | 0,805 | <0,001* | | | | | | | | |
| Kazanç (USD/yıl) | 0,317 | 0,09 | 0,301 | 0,11 | 0,788 | <0,001* | | | | | | | | |
| Yatırım Maliyeti (M\$) | 0,643 | 0,001* | 0,576 | 0,005* | 0,832 | <0,001* | | | | | | | | |
| Enerji Kaybı (Mwe) | 0,441 | 0,029* | 0,485 | 0,018* | 0,809 | <0,001* | | | | | | | | |
| Yıllık enerji üretimi (\$) | 0,317 | 0,09 | 0,301 | 0,11 | 0,788 | <0,001* | 0,72 | <0,001* | | | | | | |
| Elektrik Üretim Maliyeti (USD/kWh) | -0,14 | 0,28 | -0,31 | 0,1 | -0,51 | 0,012* | -0,38 | 0,06 | -0,48 | 0,019* | | | | |
| Desarj (m ³ /s) | 0,529 | 0,010* | 0,397 | 0,046* | 0,674 | <0,001* | 0,573 | 0,005* | 0,784 | <0,001* | -0,26 | 0,143 | | |
| Düşü Mesafesi (m) | -0,34 | 0,08 | 0,112 | 0,32 | -0,02 | 0,47 | 0,062 | 0,4 | -0,05 | 0,42 | -0,12 | 0,317 | -0,55 | 0,008* |

Spearman Korelasyon Testi uygulanmıştır.

*** p<0,05 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade eder.**

Tablo 4.1.'de HES'lere ait verilerin korelasyonu gösterilmiştir. Amorti süresinin üretilen güç ile arasında pozitif, orta şiddette ($r=0.429$; $p=0.033$); yatırım maliyeti ile pozitif, yüksek şiddette ($r=0.643$; $p=0.001$); enerji kaybı ile pozitif, orta şiddette ($r=0.441$; $p=0.029$); deşarj ile pozitif, orta şiddette ($r=0.529$; $p=0.010$) doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Bakım maliyetinin üretilen güç ile arasında pozitif, orta şiddette ($r=0.538$; $p=0.009$); yatırım maliyeti ile pozitif, orta şiddette ($r=0.576$; $p=0.005$); enerji kaybı ile pozitif, orta şiddette ($r=0.485$; $p=0.018$); deşarj ile pozitif zayıf düzeyde ($r=0.397$; $p=0.046$) doğrusal ilişkilidir.

Üretilen gücün enerji üretimi ile arasında pozitif, çok yüksek şiddette ($r=0.805$; $p<0.001$); kazanç ile pozitif, yüksek şiddette ($r=0.788$; $p<0.001$); yatırım maliyeti ile pozitif, çok yüksek şiddette ($r=0.832$; $p<0.001$); enerji kaybı ile pozitif, çok yüksek şiddette ($r=0.809$; $p<0.001$); dolar cinsinden yıllık enerji üretimi ile pozitif, yüksek şiddette ($r=0.788$; $p<0.001$); USD/kWh ile negatif, orta şiddette ($r=-0.514$; $p=0.012$); deşarj ile pozitif, yüksek şiddette ($r=0.674$; $p<0.001$) doğrusal bir ilişki görülmüştür.

Enerji üretiminin kazanç ile arasında pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.996$; $p<0.001$); yatırım maliyeti ile pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.860$; $p<0.001$); enerji kaybı ile pozitif, yüksek düzeyde ($r=0.733$; $p<0.001$); dolar cinsinden yıllık enerji üretimiyle pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.996$; $p<0.001$); USD/kWh ile negatif, orta düzeyde ($r=-0.526$; $p=0.012$); deşarj ile pozitif, yüksek düzeyde ($r=0.791$; $p<0.001$) doğrusal bir ilişki görülmüştür.

Kazancın yatırım maliyeti ile pozitif çok yüksek düzeyde ($r=0.853$; $p<0.001$); enerji kaybı ile pozitif, yüksek düzeyde ($r=0.720$; $p<0.001$); dolar cinsinden yıllık enerji üretimi ile pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.979$; $p<0.001$); USD/kWh ile negatif orta düzeyde ($r=-0.478$; $p=0.019$); deşarj ile pozitif, yüksek düzeyde ($r=0.784$; $p<0.001$) doğrusal bir ilişki gözlenmiştir.

Yatırım maliyeti enerji kaybı ile pozitif yüksek düzeyde ($r=0.865$; $p<0.001$); dolar cinsinden yıllık enerji üretimi ile pozitif, yüksek düzeyde ($r=0.853$; $p<0.001$); USD/kWh ile negatif, orta düzeyde ($r=-0.465$; $p=0.022$); deşarj ile pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.817$; $p<0.001$) doğrusal bir ilişki bulunmuştur.

Enerji kaybı ile dolar cinsinden yıllık enerji üretimi arasında pozitif yüksek düzeyde ($r=0.720$; $p<0.001$); deşarj ile pozitif, orta düzeyde ($r=0.573$; $p=0.005$) doğrusal bir ilişki bulunmuştur.

Dolar cinsinden yıllık enerji üretimi ile USD/kWh arasında negatif, orta düzeyde ($r=-0.478$; $p=0.019$); deşarj ile pozitif yüksek düzeyde ($r=0.784$; $p<0.001$) doğrusal bir ilişki gözlenmiştir.

Deşarj ile düşü mesafesi arasında negatif orta düzeyde doğrusal bir ilişki görülmüştür ($r=-0.546$; $p=0.008$).

Tablo 4.2. Biyoenerji Santrallerine Ait Verilerin Korelasyonu

| | Amorti Süresi (yıl) | | Bakım Maliyeti (\$) | | Üretilen güç (MW) | | Enerji Üretimi (kWh/yıl) | | Kazanç (USD/yıl) | | Yatırım Maliyeti (M\$) | | Enerji Kaybı (Mwe) | | Yıllık enerji üretimi kaç (\$) | |
|------------------------------------|---------------------|--------|---------------------|---------|-------------------|---------|--------------------------|---------|------------------|---------|------------------------|--------|--------------------|---------|--------------------------------|-------|
| | r | p | r | p | r | p | r | p | r | p | r | p | r | p | r | p |
| Bakım Maliyeti (\$) | 0,168 | 0,292 | | | | | | | | | | | | | | |
| Üretilen güç (MW) | -0,427 | 0,073 | 0,616 | 0,012* | | | | | | | | | | | | |
| Enerji Üretimi (kWh/yıl) | -0,463 | 0,055 | 0,572 | 0,020* | 0,995 | <0,001* | | | | | | | | | | |
| Kazanç (USD/yıl) | -0,463 | 0,055 | 0,572 | 0,020* | 0,995 | <0,001* | 0,999 | <0,001* | | | | | | | | |
| Yatırım Maliyeti (M\$) | -0,125 | 0,342 | 0,861 | <0,001* | 0,736 | 0,002* | 0,72 | 0,003* | 0,72 | 0,003* | | | | | | |
| Enerji Kaybı (Mwe) | -0,569 | 0,021* | 0,501 | 0,041* | 0,962 | <0,001* | 0,973 | <0,001* | 0,973 | <0,001* | 0,687 | 0,005* | | | | |
| Yıllık enerji üretimi (\$) | -0,463 | 0,055 | 0,572 | 0,020* | 0,995 | <0,001* | 0,999 | <0,001* | 0,999 | <0,001* | 0,72 | 0,003* | 0,973 | <0,001* | | |
| Elektrik Üretim Maliyeti (USD/kWh) | -0,445 | 0,064 | -0,057 | 0,427 | 0,314 | 0,148 | 0,314 | 0,148 | 0,314 | 0,148 | 0,157 | 0,304 | 0,314 | 0,148 | 0,314 | 0,148 |

Spearman Korelasyon Testi uygulanmıştır.

*** $p<0.05$ düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade eder.**

Tablo 4.2.'de biyoenerji verileri arasındaki korelasyon gösterilmiştir. Amorti süresi ile enerji kaybı negatif, orta düzeyde ($r=-0.569$; $p=0.021$) doğrusal ilişki gözlenmiştir.

Bakım maliyeti ile üretilen güç arasında pozitif, yüksek düzeyde ($r=0.616$; $p=0.012$); enerji üretimi ile pozitif orta düzeyde ($r=0.572$; $p=0.020$); kazanç ile pozitif, orta düzeyde ($r=0.572$; $p=0.012$); yatırım maliyeti ile pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.861$; $p<0.001$); enerji kaybı ile pozitif, orta düzeyde ($r=0.501$; $p=0.041$); dolar cinsinden yıllık enerji tüketimiyle pozitif, orta düzeyde ($r=0.572$; $p=0.020$) doğrusal bir ilişkiye rastlanılmıştır.

Üretilen güç ile enerji üretimi arasında pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.995$; $p<0.001$); kazanç ile pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.995$; $p<0.001$); yatırım maliyeti ile pozitif, yüksek düzeyde ($r=0.736$; $p=0.002$); enerji kaybı ile pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.962$; $p<0.001$); dolar cinsinden yıllık enerji üretimiyle pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.995$; $p<0.001$) doğrusal bir ilişki saptanmıştır.

Enerji üretiminin kazanç ile pozitif, çok yüksek düzeyde ($r=0.999$; $p<0.001$); yatırım maliyeti ile pozitif, yüksek düzeyde ($r=0.720$; $p=0.003$); enerji kaybı ile pozitif, çok

yüksek düzeyde ($r= 0.973$; $p<0.001$); dolar cinsinden yıllık enerji üretimiyle pozitif, çok yüksek düzeyde ($r= 0.999$; $p<0.001$) doğrusal bir ilişki gözlenmiştir.

Kazanç ile yatırım maliyeti pozitif, yüksek düzeyde ($r= 0.720$; $p=0.003$); enerji kaybı ile pozitif, çok yüksek düzeyde ($r= 0.973$; $p<0.001$); dolar cinsinden yıllık enerji üretimiyle pozitif, çok yüksek düzeyde ($r= 0.999$; $p<0.001$) doğrusal bir ilişki gözlenmiştir.

Yatırım maliyeti ile enerji kaybı ve dolar cinsinden yıllık enerji üretimiyle arasında pozitif, yüksek düzeyde doğrusal bir ilişkiye rastlanmıştır ($r=0.714$; $p=0.003$, $r=0.687$; $p=0.005$, $r=0.157$; $p=0.304$).

Enerji kaybı ile dolar cinsinden yıllık enerji üretimi arasında pozitif, çok yüksek düzeyde doğrusal bir ilişkiye rastlanmıştır ($r=0.973$; $p<0.001$).

Tablo 4.1. Santral Gruplarına Göre Enerji Verilerinin Karşılaştırması

| | HES | | BES | | p |
|------------------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
| | Ortanca | Çeyrekler Arası Açıklık | Ortanca | Çeyrekler Arası Açıklık | |
| Amorti Süresi (yıl) | 9,5 | 6,5 | 4,5 | 2 | <0.001* |
| Bakım Maliyeti (\$) | 60000 | 15000 | 64000 | 30800 | 0,325 |
| Üretilen güç (MW) | 9,33 | 8,52 | 6,02 | 14,4 | 0,443 |
| Enerji Üretimi (kWh/yıl) | 24,5 | 25,5 | 42,14 | 109,73 | 0,103 |
| Kazanç (USD/yıl) | 1892000 | 1861500 | 5604620 | 14593691 | 0.003* |
| Yatırım Maliyeti (M\$) | 17 | 20 | 5,45 | 23,52 | 0,179 |
| kW Başına Yatırım Maliyeti (\$) | 1,93 | 0,45 | 1,83 | 1,46 | 0,451 |
| kWh Başına Yatırım Maliyeti (\$) | 0,66 | 0,42 | 0,22 | 0,2 | <0.001* |
| Enerji Kaybı (Mwe) | 0,3 | 0,45 | 0,52 | 1,41 | 0,161 |
| Yıllık enerji üretimi (\$) | 1892000 | 1861500 | 5604620 | 14593691 | 0.003* |
| Elektrik Üretim Maliyeti (USD/kWh) | 7,3 | 1,3 | 13,3 | 0 | <0.001* |

Mann Whitney-U Testi uygulanmıştır.

* $p<0.05$ düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade eder.

Tablo 4.3'te HES ve BES gruplarına göre enerji verilerinin değişimi gösterilmiştir. HES grubunda BES grubuna göre amorti süresi, kazanç, yıllık enerji üretimi ve elektrik üretim maliyeti anlamlı düzeyde daha az ve kWh başına yatırım maliyeti anlamlı düzeyde daha fazla bulunmuştur ($p<0.05$).

Tablo 4.3. Kurulu Güçlerine Göre HES ve BES Verilerinin Grup İçi Karşılaştırması

| | HES | | | BES | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Küçük Ölçekli (n=7) | Mini Ölçekli (n=11) | p | Küçük Ölçekli (n=6) | Mini Ölçekli (n=7) | p |
| | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) |
| Amorti Süresi (yıl) | 14.00 (6.00) | 8.00 (7.00) | 0.41* | 4.00 (1.88) | 4.50 (2.50) | 0,313 |
| Bakım Maliyeti (\$) | 60000.00 (10000.00) | 500000.00 (20000.00) | 0,458 | 347000 (496500.00) | 55200.00 (32455.00) | 0.015* |
| Üretilen güç (MW) | 15.02 (4.52) | 7.00 (6.80) | <0.001* | 16.75 (22.13) | 2.80 (2.50) | 0.003* |
| Enerji Üretimi (kWh/yıl) | 30.00 (15.50) | 13.00 (18.50) | 0.021* | 127.17 (158.75) | 19.10 (19.49) | 0.003* |
| Kazanç (USD/yıl) | 2190000.00 (1028000.00) | 1209000.00 (1314000.00) | 0.021* | 16912612.50 (22088750.00) | 2540699.00 (2832569.00) | 0.003* |
| Yatırım Maliyeti (M\$) | 25.00 (15.00) | 6.00 (15.00) | 0.007* | 25.85 (24.58) | 2.76 (1.90) | 0.003* |
| kW Başına Yatırım Maliyeti (\$) | 1.66 (0.66) | 1.93 (0.45) | 0,69 | 2.00 (1.52) | 1.07 (1.69) | 0,317 |
| kWh Başına Yatırım Maliyeti (\$) | 0.68 (0.34) | 0.53 (0.24) | 0,239 | 0.25 (0.21) | 0.15 (0.22) | 0,616 |
| Enerji Kaybı (Mwe) | 0.60 (0.28) | 0.20 (0.18) | 0.009* | 1.60 (1.62) | 0.26 (0.31) | 0.003* |
| Elektrik Üretim Maliyeti (USD/kWh) | 7.30 (0.00) | 7.30 (1.30) | 0,275 | 13.30 (0.32) | 13.30 (0.00) | 0,82 |

Mann Whitney-U Testi uygulanmıştır.

*** p<0.05 düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade eder.**

Tablo 4.4'te kurulu güçlerine göre HES ve BES verilerinin karşılaştırılması verilmiştir. HES ve BES grupları, üretilen güç parametresinin <10 MW olmasına göre mini ölçekli; 10-50 MW olmasına göre küçük ölçekli; >50 MW olmasına göre büyük ölçekli olarak 3 alt gruba ayrılmıştır. Yalnızca 1 tane büyük ölçekli HES olması sebebiyle söz konusu santral bu tablodaki analizlerin dışında bırakılmıştır. HES grupları incelendiğinde; mini ölçekli santrallerin küçük ölçekli santrallere göre amorti süresi, üretilen güç, enerji üretimi, kazanç, yatırım maliyeti ve enerji kaybı değerleri anlamlı düzeyde daha az bulunmuştur (p<0.05). BES grupları incelendiğinde ise; mini ölçekli santrallerin küçük ölçekli santrallere göre bakım maliyeti, üretilen güç, enerji üretimi, kazanç, yatırım maliyeti ve enerji kaybı değerleri anlamlı düzeyde daha az bulunmuştur (p<0.05).

Tablo 4.4. Kurulu Güçlerine Göre HES ve BES Verilerinin Gruplar Arası Karşılaştırması

| | Küçük Ölçekli Santraller | | | Mini Ölçekli Santraller | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | HES (n=7) | BES (n=6) | p | HES (n=11) | BES (n=7) | p |
| | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) | Ortanca (Çeyrekler arası açıklık) |
| Amorti Süresi | 14.00 (6.00) | 4.00 (1.88) | 0.003* | 8.00 (7.00) | 4.50 (2.50) | 0.014* |
| Bakım Maliyeti (\$) | 60000.00 (10000.00) | 347000 (496500.00) | 0.042* | 50000.00 (20000.00) | 55200.00 (32455.00) | 0,649 |
| Üretilen güç (MW) | 15.02 (4.52) | 16.75 (22.13) | 0,943 | 7.00 (6.80) | 2.80 (2.50) | 0.042* |
| Enerji Üretimi (kWh/yl) | 30.00 (15.50) | 127.17 (158.75) | 0.003* | 13.00 (18.50) | 19.10 (19.49) | 0,497 |
| Kazanç (USD/yl) | 2190000.00 (1028000.00) | 16912612.50 (22088750.00) | 0.003* | 1209000.00 (1314000.00) | 2540699.00 (2832569.00) | 0.042* |
| Yatırım Maliyeti (M\$) | 25.00 (15.00) | 25.85 (24.58) | 0,943 | 6.00 (15.00) | 2.76 (1.90) | 0.010* |
| kWh Başına Yatırım Maliyeti (\$) | 1.66 (0.66) | 2.00 (1.52) | 0,567 | 1.93 (0.45) | 1.07 (1.69) | 0,106 |
| kWh Başına Yatırım Maliyeti (\$) | 0.68 (0.34) | 0.25 (0.21) | 0.022* | 0.53 (0.24) | 0.15 (0.22) | 0.002* |
| Enerji Kaybı (Mwe) | 0.60 (0.28) | 1.60 (1.62) | 0.015* | 0.20 (0.18) | 0.26 (0.31) | 0,617 |
| Elektrik Üretim Maliyeti (USD/kWh) | 7.30 (0.00) | 13.30 (0.32) | 0.001* | 7.30 (1.30) | 13.30 (0.00) | <0.001* |

Mann Whitney-U Testi uygulanmıştır.

* $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade eder.

Tablo 4.5'te kurulu güçlerine göre HES ve BES gruplarının verileri gruplar arasında karşılaştırılmıştır. Küçük ölçekli santraller incelendiğinde; HES grubunun BES grubuna göre amorti süresi ve kWh başına yatırım maliyeti değerleri anlamlı düzeyde daha yüksekken; bakım maliyeti, enerji üretimi, kazanç, enerji kaybı ve elektrik üretim maliyeti değerleri anlamlı düzeyde daha az bulunmuştur ($p < 0.05$). Mini ölçekli santraller incelendiğinde; HES grubunun BES grubuna göre amorti süresi, bakım maliyeti, üretilen güç, yatırım maliyeti ve kWh başına yatırım maliyeti değerleri anlamlı düzeyde daha yüksekken; kazanç ve elektrik üretim maliyeti anlamlı düzeyde daha az bulunmuştur ($p < 0.05$).

Fosil yakıtlardan kömür ile 820 gCO₂/kWh, doğalgaz ile de 490 gCO₂/kWh emisyon salınımı olmaktadır. Tezde özellikleri incelenen Biyoenerji ve Hidroelektrik Enerji, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Biyoenerjide 230 gCO₂/kWh, Hidroelektrik Enerjide 24 gCO₂/kWh emisyon salınımı olmaktadır (Schlömer, 2014).

Tezde incelenmiş olan Biyoenerji ve Hidroelektrik santrallerinden senelik toplam üretilen enerji tespiti sağlanmıştır. İncelenen hidroelektrik santrallerin senelik enerji üretimi 567,9 GWh, Biyoenerji santrallerinin ise senelik üretimi 1061,297 GWh olarak tespit edilmiştir. Bu enerji üretimleri kömür ile sağlansa idi 1335941,54 TCO₂ emisyon salınacaktır. Hidroelektrik enerji ile ortama 13629,6 TCO₂ Biyoenerji Santralleri aracılığıyla ise 244098,31 TCO₂ emisyon salınımı olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları emisyon toplamı ise 257727,91 TCO₂ emisyon salınımı olacaktır.

görülmektedir. Bu da emisyonun fosil yakıtlara göre %80,70 azaltılacağını göstermektedir. Küresel ısınmanın etkilerini minimize etmede yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini yapılan çalışma açıkça ortaya koymaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Küresel ısınmanın en ciddi sebepleri arasında sera gazı emisyonu gösterilmektedir. Sera gazı emisyonundaki en büyük payın ise enerji sektörünün olduğu bilinmektedir. Enerji sektöründe kullanılan fosil yakıtların sonlu ve sürdürülebilir olmaması, doğaya verdiği zararlar yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Enerjide dışa bağımlı olan ve cari açık veren ülkede, enerji sektöründe yurtdışından ithal edilen sonlu bir kaynağa bağlı kalması düşünülemezdir. Bu sebeple yerli kaynakların kullanılmasına verilen önemin giderek artırılması gerekmektedir. Bu sayede enerji ihtiyacının yanı sıra cari açık dengelenecek ayrıca Kyoto ve Paris Anlaşmalarının şartlarını da yerine getirmek adına adımlar atılmış olacaktır.

Türkiye’de, fosil yakıtların tüketimi mümkün mertebe azaltılmalı ve daha çok yenilenebilir enerji üretimini sağlayan projeler ortaya koyulmalıdır; zira Türkiye bunu gerçekleştirebilmek için uygun arazi ve iklim koşullarına sahiptir.

Ülkemizde yıllar içinde HES’lerin sayısı artırılarak sera gazı emisyonunun azaltılmasına ciddi katkı sağlanmıştır. Ayrıca enerjide dışa bağımlılığı da bu sayede minimum düzeye indirme fırsatı doğmuştur. Kurak geçen seneler haricinde HES’lerden ciddi anlamda faydalanılarak küresel ısınmanın önlenmesine veya yavaşlamasına ciddi katkı sağlanabilir.

Bir diğer yenilenebilir enerji kaynağı olan Biyoenerji ile de çalışmada bahsi geçtiği gibi enerji üretimi sırasında sıfır CO₂ emisyonu ile doğaya zarar vermeden enerji üretimi sağlamak mümkün olacaktır.

Ülkemizde kişi başına düşen sera gazı emisyonu artmakta, emisyon miktarındaki en büyük payın ise enerji sektörünün olduğu bilinmektedir. Enerji sektöründe sera gazı emisyon azaltım potansiyeli en yüksek enerji kaynağı rüzgâr enerjisinden sonra hidroelektrik enerjiye ait olduğu bilinmektedir. Ülkemizin coğrafi yapısının da elverişli olması sebebiyle, hidroelektrik enerji kurulu gücünün artmasıyla yıllar içinde enerji üretiminde artış gözlenmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle devlet kanalıyla gerekli teşvik ve yönlendirmeler ile daha fazla kullanımının desteklenmesi sonucu sera gazı

emisyonunun azaltımının yanı sıra enerjide dışa bağıllığı da minimize edecek eylemler gerçekleştirilebilir. Yerli kaynak olan hidroelektrik ve biyoenerjiye olan teşvikler ile uluslararası camiada yer alan anlaşmalara uymanın yanı sıra enerji sektöründe de bağımsız olma yolunda ciddi adımlar atılmış olacaktır.

Bu çalışmanın amacı saha çalışmaları ile elde edilen detaylı veri analizi ile gün geçtikçe popüleritesi artan yenilenebilir enerji sektöründe yer alan hidroelektrik ve biyoenerji santrallerinin durumunu incelemektir.

Saha incelemeleri sonucunda ise Biyoenerji Santrallerinin ilk kurulum maliyetlerinin Hidroelektrik Santrallere göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Kurulum maliyetlerinde 2015-2018 yılları arasında kurulan Hidroelektrik Santraller için MW başına 1-1,1 M\$ olurken günümüzde bu rakam MW başına 2 M\$ seviyelerine çıkmıştır. Bu durum Hidroelektrik Santral amorti sürelerini artırmıştır. 2015-2018 yılları arası amorti süresi 7-9 yıl iken günümüz şartlarında 15 yılı bulmuştur. Burada amorti sürelerinde bir diğer etkende Hidroelektrik santrallerin tamamen yağışa odaklı olduğundan ve Biyoenerji santrallerinin hammadde olduğu sürece tam kapasite üretim yapabileceğinden Biyoenerji Santrallerinin amorti süreleri daha kısa olacağı yetkililer tarafından ve elde edilen verilerden görülmüştür.

Hidroelektrik santral tesis edilmesinde Doğu Karadeniz Bölgesinin çok doğru bir tercih olacağı görülmüştür. Engebeli yapısı ve debisi yüksek dereleri sayesinde verimli Hidroelektrik santraller rahatlıkla tesis edilebilir.

Hidroelektrik enerjide, deşarj süresi yüksek santrallerde; amorti süresi, bakım maliyeti, üretilen güç, enerji kayıpları, enerji üretiminin alınan verilerin analizi sonucunda orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Biyoenerji Santrallerinde ise ham madde tedariki tercihine göre santral bölgesinde değişikliğe gidilebilir. Çalışmada yer alan tesislerde hayvansal atık, endüstriyel atık, çöp gazı, tarımsal atık, orman atığı, cips, mısır, kamış gibi malzemeler kullanılmıştır. Çalışmada da görüldüğü gibi santral tercihlerinde çeşitli bölgeler tercih edilebilmektedir.

Emisyon olarak iki enerji kaynağı karşılaştırıldığında ise, saha yetkilileri ile olan görüşmeler de sonucunda hidroelektrik santrallerin emisyon üretimi bulunmamaktadır. Yalnızca rezervuarlarındaki su bitkileri ve alg biokütellerinin ürettiği organik maddelerin ayrışması sonucu emisyon durumu oluşabilmektedir.

Murgul biyokütle santral yetkilisi ile olan görüşmeden de çıkarılan sonuca göre yakılan odun, talaş, mısır koçanı gibi hammaddelerin yanmadan kaynaklı sera gazlarını doğaya bırakması kaçınılmazdır. Bacalarında emisyon önleyici filtreler bulunsada gerekli ölçümlerin alınması ve bu ölçümlerin kayıt altına alınıp takip edilmesi fikri kaçınılmazdır. Belirli miktarda ortama salınan CO₂ tekrardan bitkiler yoluyla emilebilirse sıfır emisyon hedefi gerçekleştirilebilir. Bunun için biyoenerji santral etraflarının yeşillendirilmesi gerekmektedir.

Çalışmada elde edilen veriler sonucunda fosil yakıtlara göre Biyoenerji ve Hidroelektrik Enerji seçildiğinde emisyon oranının %80,7 azaldığı tespit edilmiştir.

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarında devlet teşvikleri mevcuttur. Yerli makine ve teçhizat kullanımında ise destek oranlarında iyi yönlü değişikliklerde görülmektedir. Ancak sonlu ve temiz enerji olmaması sebebiyle yenilenebilir enerjiye yatırımın daha fazla yapılması ve bunun teşvik edilmesinin kaçınılmaz olduğu aşıkardır.

Bakım maliyetleri ve enerji kayıpları hidroelektrik santrallerde daha az olduğu görülmüştür. Biyoenerji santrallerinde enerji üretimi için hidroelektrik santrallere göre daha kompleks sistemleri olduğu sahada görülmüştür. Bu ekipmanlarında rutin bakımlarının yapılması bakım maliyetlerinin hidroelektrik santrallere göre daha yüksek kılmıştır. Enerji kayıplarında ise biyoenerji santrallerinde iç ihtiyaç diye tabir edilen bir güç sürekli olarak içeride tüketilmektedir. Hidroelektrik santrallerde jeneratör ve iletim hattı kayıpları dışında ciddi bir hat kaybı bulunmamaktadır.

Senelik üretilen enerji ise Biyoenerji santrallerinde çok fazla değişkenlik göstermez, hammadde tedariki olduğu sürece 7/24 devam edebilir. Ancak hidroelektrik santrallerde tamamen yağışa bağlıdır.

Giderek artan enerji enerji talebi, sonlu kaynakların tükenmesi ve kalanın da kullanılması durumunda küresel ısınmaya sebebiyet vermesi, ayrıca uluslararası platformlarda imzalanan Kyoto ve Paris anlaşmalarına uyma yükümlülükleri sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemin artması kaçınılmazdır. Çalışmada incelenen iki kaynağın kullanılması, sera gazı emisyonunun azaltılması açısından fosil yakıtlara göre çok fazla avantajlıdır. Ancak yatırım, bakım, yıllık enerji üretimleri, amorti süreleri gibi verilerin analizi çalışmada detaylı olarak incelenerek iki kaynak hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır. Bu veriler ışığında

yenilenebilir enerji kaynaklarından birisine yatırım yapılabilir veya fikir sahibi olunabilecektir.

Ülkemiz bu gelişmeler ışığında tutumunu uluslararası camiada da göstermeli; yenilenebilir enerji kaynakları kullanımına geçişi yalnızca gönüllü platformlarda değil uluslararası iklim anlaşmalarına katılarak da takip etmelidir.

KAYNAKÇA

- Abbasi, T. ve Abbasi, S.A. (2011). *Renewable energy sources : Their impact on global warming and pollution*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Akbostancı, E., Tunç, G.İ. & Türüt-Aşık, S. (2018). Drivers of fuel based carbon dioxide emissions: The case of Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2599-2608. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2017.06.066>
- Aksay, M.V. ve Tabak, A. (2022). Mapping of biogas potential of animal and agricultural wastes in Turkey. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-18.
- Ari, I. ve Aydinalp Koksall, M. (2011). Carbon dioxide emission from the Turkish electricity sector and its mitigation options. *Energy Policy*, 39(10), 6120-6135. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2011.07.012>
- Ari, I. ve Yikmaz, R.F. (2019). The role of renewable energy in achieving Turkey's INDC. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 244-251. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2019.02.004>
- Bakay, M.S. ve Ağbulut, Ü. (2021). Electricity production based forecasting of greenhouse gas emissions in Turkey with deep learning, support vector machine and artificial neural network algorithms. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125324. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.125324>
- Balat, H. (2008). Contribution of green energy sources to electrical power production of Turkey : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(6), 1652-1666. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2007.03.001>
- Bayazıt, Y. (2021). The effect of hydroelectric power plants on the carbon emission: An example of Gokcekaya dam, Turkey. *Renewable Energy*, 170, 181-187. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2021.01.130>
- Berndes, G., Hoogwijk, M. & Van Den Broek, R. (2003). The contribution of biomass in the future global energy supply : a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25(1), 1-28. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(02\)00185-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00185-X)
- Bickford, R. (2019). This report contains assessments of commodity and trade issues made by usda staff and not necessarily statements of official US government policy required report-public distribution ethiopia coffee annual coffee annual report. *USDA Foreign Agricultural Service: Washington, DC, USA*.
- Bildirici, M.E. (2013). Economic growth and biomass energy. *Biomass and Bioenergy*, 50, 19-24. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2012.09.055>

- Bilgen, S. (2014). The determination of the chemical exergy values of Indonesian biomass and biomass residues. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 8(1), 88-93. <https://doi.org/10.1166/JBMB.2014.1401>
- Bilgen, S., Keleş, S., Sarıkaya, İ & Kaygusuz, K. (2015). *A perspective for potential and technology of bioenergy in Turkey : Present case and future view*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.096>
- Chen, F., Lu, S.-M., Tseng, K.-T., Lee, S.-C. & Wang, E. (2010). Assessment of renewable energy reserves in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2511-2528.
- Christiansen, B. ve Basilgan, M. (2013). Economic behavior, game theory, and technology in emerging markets. *Economic Behavior, Game Theory, and Technology in Emerging Markets*, 1-438. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4745-9>
- Chuang, J., Lien, H.L., Den, W., Iskandar, L. & Liao, P. H. (2018). The relationship between electricity emission factor and renewable energy certificate : The free rider and outsider effect. *Undefined*, 28(6), 422-429. <https://doi.org/10.1016/J.SERJ.2018.05.004>
- Cook, J. ve Beyea, J. (2000). Bioenergy in the United States : progress and possibilities. *Biomass and Bioenergy*, 18(6), 441-455. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00011-8)
- De Oliveira-De Jesus, P.M. (2019). Effect of generation capacity factors on carbon emission intensity of electricity of Latin America & the Caribbean, a temporal IDA-LMDI analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 516-526. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2018.11.030>
- Demirbas, A. (2008). Importance of biomass energy sources for Turkey. *Energy Policy*, 36(2), 834-842. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2007.11.005>
- Demirbas, A., Pehlivan, E. & Altun, T. (2006). Potential evolution of Turkish agricultural residues as bio-gas, bio-char and bio-oil sources. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31(5), 613-620. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2005.06.003>
- Demirel, B., Onay, T.T. & Yenigün, O. (2010). Application of biogas technology in Turkey. *World Acad Sci Eng Technol*, 43(818-22).
- Devi, L., Ptasinski, K.J. & Janssen, F. J. J. G. (2003). A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes. *Biomass and Bioenergy*, 24(2), 125-140.
- Dulkadiroğlu, H. (2018). Türkiye’de Elektrik Üretimini Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 67-74. <https://doi.org/10.28948/NGUMUH.369948>
- Eaves, J. ve Eaves, S. (2007). Renewable corn-ethanol and energy security. *Energy Policy*, 35(11), 5958-5963.

- Erdem, Z.B. (2010). The contribution of renewable resources in meeting Turkey's energy-related challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2710-2722. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2010.07.003>
- Esin, A. (2020). Türkiye'deki Rüzgâr ve Hidroelektrik Enerji Potansiyellerinin Karşılaştırılması ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi : Söylemez HES ve İtepe RES Örneği. *International Journal of Engineering and Innovative Research*, 2(1), 8-23.
- European Academies Science Advisory Council. (2019). *Forest bioenergy, carbon capture and storage, and carbon dioxide removal : An update*. European Academies Science Advisory Council Brussels, Belgium.
- Fang, G., Yang, J., Chen, Y., Zhang, S., Deng, H., Liu, H. & De Maeyer, P. (2015). Climate Change Impact on the Hydrology of a Typical Watershed in the Tianshan Mountains. *Advances in Meteorology*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/960471>
- Florini, A. (2011). The International Energy Agency in global energy governance. *Global Policy*, 2, 40-50.
- Gokcol, C., Dursun, B., Alboyaci, B. & Sunan, E. (2009). Importance of biomass energy as alternative to other sources in Turkey. *Energy Policy*, 37(2), 424-431. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2008.09.057>
- Gözen, M. (2014). Renewable Energy Support Mechanism in Turkey : Financial Analysis and Recommendations to Policymakers. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 4(2), 274-287.
- Halder, P., Pietarinen, J., Havu-Nuutinen, S. & Pelkonen, P. (2010). Young citizens' knowledge and perceptions of bioenergy and future policy implications. *Energy Policy*, 38(6), 3058-3066. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2010.01.046>
- Hall, D.O. (1997). Biomass energy in industrialised countries—a view of the future. *Forest Ecology and Management*, 91(1), 17-45. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03883-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03883-2)
- Hall, D.O. ve House, J.I. (1995). Biomass energy in Western Europe to 2050. *Land Use Policy*, 12(1), 37-48. [https://doi.org/10.1016/0264-8377\(95\)90073-B](https://doi.org/10.1016/0264-8377(95)90073-B)
- Henley, W. (2019). Hydropower Status Report. *International Hydropower Association*.
- İlkiliç, C. (2012). Wind energy and assessment of wind energy potential in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1165-1173.
- Inglesi-Lotz, R. ve Dogan, E. (2018). The role of renewable versus non-renewable energy to the level of CO₂ emissions a panel analysis of sub-Saharan Africa's Big 10 electricity generators. *Renewable Energy*, 123, 36-43. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.041>
- Kabakcı, M. (2020). Evaluation of Electric Power Plants and Production Capacity in Turkey. *Usak University Journal of Engineering Sciences*, 3(2), 62-72. <https://doi.org/10.47137/UUJES.777706>

- Kankal, M., Bayram, A., Uzlu, E. & Satılmış, U. (2014). Assessment of hydropower and multi-dam power projects in Turkey. *Renewable Energy*, 68, 118-133.
- Kar, T. ve Keles, S. (2013). Fast pyrolysis of chestnut cupulae : Yields and characterization of the bio-oil. *Energy Exploration and Exploitation*, 31(6), 847-858. <https://doi.org/10.1260/0144-5987.31.6.847>
- Karadeniz, V., Akpınar, E. & Başbüyük, A. (2011). Nehir tipi hidroelektrik santraller ve çevresel etkileri (Reşadiye hidroelektrik santralleri örneği). *Doğu Coğrafya Dergisi*, 16(26), 95-114.
- Kaunda, C. S., Kimambo, C. Z. & Nielsen, T.K. (2012). Hydropower in the context of sustainable energy supply : a review of technologies and challenges. *International Scholarly Research Notices*, 2012.
- Kaygusuz, K. ve Bilgen, S. (2008). Energy Related Environmental Policies in Turkey. <Http://Dx.Doi.Org/10.1080/15567240701421690>, 3(4), 396-410. <https://doi.org/10.1080/15567240701421690>
- Kaygusuz, K. (2009). Bioenergy as a clean and sustainable fuel. *Energy Sources, Part A*, 31(12), 1069-1080.
- Kaygusuz, K. (2010). Energy services and energy poverty for rural regions. *Energy Sources, Part B : Economics, Planning, and Policy*, 5(4), 424-433.
- Keleş, S. ve Bilgen, S. (2012). Renewable energy sources in Turkey for climate change mitigation and energy sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5199-5206. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.05.026>
- Kentel, E. ve Alp, E. (2013). Hydropower in Turkey : Economical, social and environmental aspects and legal challenges. *Environmental Science & Policy*, 31, 34-43.
- Kerem, A. (2022). Investigation of carbon footprint effect of renewable power plants regarding energy production : A case study of a city in Turkey. <Https://Doi.Org/10.1080/10962247.2022.2028690>, 72(3), 294-307. <https://doi.org/10.1080/10962247.2022.2028690>
- Khanal, S.K., Surampalli, R.Y., Zhang, T.C., Lamsal, B.P., Tyagi, R.D. & Kao, C.M. (2010). Bioenergy and biofuel from biowastes and biomass. *Bioenergy and Biofuel from Biowastes and Biomass*, 1-505. <https://doi.org/10.1061/9780784410899>
- Koç, C. (2014). A study on the development of hydropower potential in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 498-508.
- Kotciolu, I. (2011). Clean and sustainable energy policies in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 5111-5119. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2011.07.045>
- Kramarz, T., Park, S. & Johnson, C. (2021). Governing the dark side of renewable energy : A typology of global displacements. *Energy Research & Social Science*, 74, 101902.

- Kucukali, S. ve Baris, K. (2011). Renewable Energy Policy in Turkey. *Proceedings of the World Renewable Energy Congress – Sweden, 8–13 May, 2011, Linköping, Sweden, 57, 2454-2461.* <https://doi.org/10.3384/ECP110572454>
- Kucukali, S. (2014). Environmental risk assessment of small hydropower (SHP) plants : A case study for Tefen SHP plant on Filyos River. *Energy for Sustainable Development, 19(1), 102-110.* <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2013.12.010>
- Kul, C., Zhang, L. & Solangi, Y. A. (2020). Assessing the renewable energy investment risk factors for sustainable development in Turkey. *Journal of Cleaner Production, 276, 124164.* <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124164>
- Laghari, J.A., Mokhlis, H., Bakar, A.H.A. & Mohammad, H. (2013). A comprehensive overview of new designs in the hydraulic, electrical equipments and controllers of mini hydro power plants making it cost effective technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 20, 279-293.*
- Link, S., Arvelakis, S., Paist, A., Martin, A., Liliedahl, T. & Sjöström, K. (2012). Atmospheric fluidized bed gasification of untreated and leached olive residue, and co-gasification of olive residue, reed, pine pellets and Douglas fir wood chips. *Applied Energy, 94, 89-97.*
- Lu, L., Tang, Y., Xie, J. sui & Yuan, Y. liang. (2009). The role of marginal agricultural land-based mulberry planting in biomass energy production. *Renewable Energy, 34(7), 1789-1794.* <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2008.12.017>
- Luijten, J. (2005). Bioenergy Options for a Cleaner Environment : In Developed and Developing Countries. *Agricultural Systems, 83(3), 329-331.*
- Malins, C. (2017). *What role is there for electrofuel technologies in European transport's low carbon future?*
- Malins, C. (2018). Driving deforestation : the impact of expanding palm oil demand through biofuel policy. *Cerulogy : Regnskogfondet, Norway.*
- Manhart, A., Schmitt, K., Stahl, H. & Griebhammer, R. (2008). Emerging Economies–New challenges for international co-operation and development. *Retrieve from : Http://Www. Newbility.de/Oekodoc/807/2008-252-En. Pdf.*
- McCormick, Nadine. ve World Conservation Union. (2008). *Implementing sustainable bioenergy production : a compilation of tools and approaches.*
- Melikoglu, M. (2013a). *Hydropower in Turkey : Analysis in the view of Vision 2023.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.025>
- Melikoglu, M. (2013b). Vision 2023 : Feasibility analysis of Turkey's renewable energy projection. *Renewable Energy, 50, 570-575.* <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2012.07.032>

- Murdock, H.E., Gibb, D., André, T., Sawin, J.L., Brown, A., Ranalder, L., Collier, U., Dent, C., Epp, B. & Hareesh Kumar, C. (2021). *Renewables 2021-Global status report*.
- Ndimba, B.K., Ndimba, R.J., Johnson, T.S., Waditee-Sirisattha, R., Baba, M., Sirisattha, S., Shiraiwa, Y., Agrawal, G.K. & Rakwal, R. (2013). Biofuels as a sustainable energy source : An update of the applications of proteomics in bioenergy crops and algae. *Journal of Proteomics*, 93, 234-244. <https://doi.org/10.1016/J.JPROT.2013.05.041>
- Nepal, P., Ince, P. J., Skog, K.E. & Chang, S.J. (2012). Projection of U.S. forest sector carbon sequestration under U.S. and global timber market and wood energy consumption scenarios, 2010–2060. *Biomass and Bioenergy*, 45, 251-264. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2012.06.011>
- Obayashi, Y. (2017). *Japan fires up biomass energy, but fuel shortage looms*. Reuters.
- Ocak, M., Ocak, Z., Bilgen, S., Keleş, S. & Kaygusuz, K. (2004). Energy utilization, environmental pollution and renewable energy sources in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 45(6), 845-864. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00192-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00192-4)
- Osiolo, H.H. (2021). Impact of cost, returns and investments : Towards renewable energy generation in Sub-Saharan Africa. *Renewable Energy*, 180, 756-772. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2021.08.082>
- Outlook, B.P.E. (2019). 2019 edition. *London, United Kingdom 2019*.
- Ozcan, M. (2016). Estimation of Turkey's GHG emissions from electricity generation by fuel types. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 832-840. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.09.018>
- Özcan, M. ve Durmuşoğlu, S.M. (2022). Mühendis ve Makina cilt 63, sayı 707, s. 279-313. *Araştırma Makalesi Engineer and Machinery*, 63(707), 279-313. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.936861>
- Parikka, M. (2004). Global biomass fuel resources. *Biomass and Bioenergy*, 27(6), 613-620. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2003.07.005>
- Patricia A. Patrician, D.E.V. (2017). Conservation of Resources Theory in Nurse Burnout and Patient Safety. *Journal of Advanced Nursing*, 73(11), 2558-2565. <https://doi.org/10.1111/jan.13348>
- Pellegrino, E., Di Bene, C., Tozzini, C. & Bonari, E. (2011). Impact on soil quality of a 10-year-old short-rotation coppice poplar stand compared with intensive agricultural and uncultivated systems in a Mediterranean area. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(1-2), 245-254. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2010.12.011>
- Pogson, M., Hastings, A. & Smith, P. (2013). How does bioenergy compare with other land-based renewable energy sources globally? *GCB Bioenergy*, 5(5), 513-524. <https://doi.org/10.1111/GCBB.12013>
- Rautela, R., Arya, S., Vishwakarma, S., Lee, J., Kim, K.-H. & Kumar, S. (2021). E-waste management and its effects on the environment and human health. *Science of the Total Environment*, 773, 145623.

- Reid, W.V., Ali, M.K. & Field, C.B. (2020). The future of bioenergy. *Global Change Biology*, 26(1), 274-286. <https://doi.org/10.1111/GCB.14883>
- Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., Handa, C., Kheshgi, H., Kobayashi, S. & Kriegler, E. (2018). Mitigation pathways compatible with 1.5 C in the context of sustainable development. *Global warming of 1.5 C* (ss. 93-174). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Sahin, H. ve Esen, H. (2022). The usage of renewable energy sources and its effects on GHG emission intensity of electricity generation in Turkey. *Renewable Energy*, 192, 859-869. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2022.03.141>
- Şahin, U. (2019). Forecasting of Turkey's greenhouse gas emissions using linear and nonlinear rolling metabolic grey model based on optimization. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118079. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118079>
- Saracoglu, N. (2010). The Biomass Potential of Turkey for Energy Production : Part I. [Http://Dx.Doi.Org/10.1080/15567240802532981](http://Dx.Doi.Org/10.1080/15567240802532981), 5(3), 272-278. <https://doi.org/10.1080/15567240802532981>
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F., Monforti-Ferrario, F. & Nita, V. (2015). The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development*, 15, 3-34.
- Schlömer, S., Bruckner, T., Fulton, L., Hertwich, E., McKinnon, A., Perczyk, D. & Wisser, R. (2014). Annex III : Technology-specific cost and performance parameters. In *Climate change 2014 : Mitigation of climate change : Contribution of working group III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1329-1356)*. Cambridge University Press.
- Sims, R.E.H. (2001). Bioenergy — a renewable carbon sink. *Renewable Energy*, 22(1-3), 31-37. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00058-6](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00058-6)
- Solaun, K. ve Cerdá, E. (2019). Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109415. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2019.109415>
- Spitzer, J. (1998). *The Role of Bioenergy in Greenhouse Gas Mitigation*.
- Steffen, B., Beuse, M., Tautorat, P. & Schmidt, T. S. (2020). Experience Curves for Operations and Maintenance Costs of Renewable Energy Technologies. *Joule*, 4(2), 359-375. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.11.012>
- Süme, V. ve Subutay Firat, S. (2020). Hydroelectric Power Plants and The Importance of Hydroelectric Power Plants in Trabzon Province for the City and the Eastern Black Sea Basin. *Türk Hid. Der. (Tur. J. Hyd., Cilt*, 4, 11-24. <http://www.dergipark.gov.tr>
- TEİAŞ. (2022). *Santral Kurulu Güç Raporları*. <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari/> adresinden 6 Kasım 2022 tarihinde alınmıştır.

- Tükenmez, M. ve Demireli, E. (2012). Renewable energy policy in Turkey with the new legal regulations. *Renewable Energy*, 39(1), 1-9.
- Tutuş, A. ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2009). Barajlar ve Hidroelektrik Santraller. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, *Bildiriler Kitabı*, 19, 21.
- White, E.M. (2010). *Woody biomass for bioenergy and biofuels in the United States : A briefing paper* (C. 825). DIANE Publishing.
- World Energy Council. (2010). *Survey of Energy Resources : Focus on Shale Gas*. World Energy Council.
- Xu, Jiuping, Ni, T. & Zheng, B. (2015). Hydropower development trends from a technological paradigm perspective. *Energy Conversion and Management*, 90, 195-206.
- Xu, Junming, Jiang, J., Chen, J. & Sun, Y. (2010). Biofuel production from catalytic cracking of woody oils. *Bioresource Technology*, 101(14), 5586-5591. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2010.01.148>
- Yang, Z., Zhang, M., Liu, L. & Zhou, D. (2022). Can renewable energy investment reduce carbon dioxide emissions? Evidence from scale and structure. *Energy Economics*, 112, 106181. <https://doi.org/10.1016/J.ENECO.2022.106181>
- Yemshanov, D. ve McKenney, D. (2008). Fast-growing poplar plantations as a bioenergy supply source for Canada. *Biomass and Bioenergy*, 32(3), 185-197. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2007.09.010>
- Yıldırım, U. (2020). Avrupa Birliği ve Türkiye'nin Enerji Görünümü (1990-2018): Ne Değişti. *Politik Ekonomik Kuram*, 4(2), 200-218.
- Zhang, S., Gilless, J.K. & Stewart, W. (2014). Modeling price-driven interactions between wood bioenergy and global wood product markets. *Biomass and Bioenergy*, 60, 68-78. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2013.10.027>
- Zhou, H., Deng, Z., Xia, Y. & Fu, M. (2016). A new sampling method in particle filter based on Pearson correlation coefficient. *Neurocomputing*, 216, 208-215.
- Zhu, Q., Chen, X., Song, M., Li, X. & Shen, Z. (2022). Impacts of renewable electricity standard and Renewable Energy Certificates on renewable energy investments and carbon emissions. *Journal of Environmental Management*, 306, 114495. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.114495>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Aykut KIZKIN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik–Elektronik Mühendisliği
- **Yükseklisans** : Devam Ediyor, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Programı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2016-2021 yılları arasında LİTPA Aydınlatma’da ARGE Mühendisi olarak çalıştım.
- 2021-Halen Çoruh Elektrik dağıtım A.Ş. Yapım İşleri Uzmanı olarak çalışıyorum.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Kızkın A. ve Yavuz C. (2021, 21-22, Ağustos). The Effect of HEPPs Commissioned After 1990 on Reduction of Greenhouse Gas Emissions. *1. International Marmara Scientific Research And Innovation Congress*, İstanbul, Turkey.
- Kızkın A. ve Yavuz C. (2022, 19-20, Şubat). Evaluation Of Greenhouse Gas Emissions In Terms Of Hydroelectric And Bioenergy, Which Are Renewable Energy Sources. *4. International Sciences And Innovation Congress*, Ankara, Turkey.